

На правах рукописи

Копаница Наталья Олеговна

**Композиционные строительные материалы на основе
модифицированных торфов**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**

Томск - 2011

**Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении
высшего профессионального образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»**

Научный консультант доктор технических наук, профессор
Кудяков Александр Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Пичугин Анатолий Петрович
доктор технических наук, профессор
Хозин Вадим Григорьевич
доктор технических наук, профессор
Верещагин Владимир Иванович

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова»

Защита состоится «29» июня 2011 года в 14 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.265.01 в Томском государственном
архитектурно-строительном университете по адресу: 634003, г. Томск, пл.
Соляная, 2, корп. 5, ауд. 307, тел./факс (3822) 659952
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО Томского
государственного архитектурно-строительного университета

Автореферат разослан «12» мая 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

В.Н. Ефименко

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Жилищное строительство, в том числе малоэтажное и индивидуальное, является приоритетным направлением национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России».

Необходимость повышения энергоэффективности при строительстве и эксплуатации жилья предполагает создание и увеличение объемов производства строительных материалов для ограждающих конструкций, обладающих требуемыми показателями качества при существенном снижении их стоимости. В связи с этим разработка новых конкурентоспособных строительных материалов из экологически чистого местного сырья с применением инновационных энергосберегающих технологий их приготовления является важной народно-хозяйственной задачей.

Особенностью сырьевой базы России является наличие значительных объемов природного возобновляемого сырья – торфа, по запасам которого страна занимает ведущее место в мире. Ежегодный прирост этого природного образования значительно превышает объемы его добычи. В Сибири сосредоточено 70 % торфяных ресурсов России. Торф в естественном состоянии обладает низкой теплопроводностью, пористостью, антисептическими свойствами, экологической чистотой, что делает его привлекательным для использования в строительстве. В существующих строительных технологиях не учитывались в полной мере потенциальные возможности торфа, связанные с особенностями его состава и структуры, а также возможностью регулировать их при определенных способах воздействия. В состав торфа входят различные органические и органоминеральные комплексы, при модифицировании которых существенно увеличиваются его вяжущие свойства и ускоряется процесс формирования структур композиционных материалов. Эту особенность торфяного сырья целесообразно использовать при изготовлении стеновых, теплоизоляционных строительных материалов и полифункциональных добавок, обеспечивающих получение требуемых прочностных и гидрофобных свойств строительных смесей на основе цемента. Для повышения прочности строительных материалов на основе торфа и снижения усадочных деформаций целесообразно введение в состав смесей армирующего компонента – продукта переработки древесины, имеющего сходство с торфом по составу и свойствам.

Таким образом, теоретическое обоснование, разработка и внедрение приемов модифицирования торфа и смесей на его основе, технологии изготовления стеновых и теплоизоляционных материалов, а также добавок, регулирующих свойства строительных смесей на основе цемента, являются актуальными.

Диссертационные исследования проводились в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы», государственного контракта Федерального агентства по науке и

инновациям № 02.513.11.3103 по теме: «Композиционные строительные материалы для многослойных теплоэффективных ограждающих конструкций на основе торфов Сибири» 2007–2012 гг. и межведомственной программы «Разработка и реализация модели Центра образования, науки и инноваций мирового уровня на основе консорциума Томских университетов и научных организаций (2009–2013 годы)».

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ. Модифицированное торфяное сырье и полученные на его основе композиционные материалы и изделия, а также добавки в цементные строительные смеси.

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЙ. Процессы модифицирования низинных и верховых торфов, структурообразование торфяных смесей и технологические приемы изготовления на их основе строительных материалов и изделий.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Научное обоснование разработки композиционных материалов и добавок в цементные растворы из модифицированных торфов с регулируемыми свойствами и технологии их изготовления.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– разработать научно обоснованную классификацию торфов применительно к производству строительных материалов и возможные модели получения композиционных теплоэффективных строительных материалов на их основе;

– исследовать закономерности структурообразования вяжущего на основе модифицированных верховых и низинных торфов, позволяющие разработать композиционные строительные материалы с заданными характеристиками;

– установить критерии оценки параметров качества и обосновать технологические приемы изготовления теплоизоляционных и стеновых материалов с регулируемой структурой и свойствами на основе рационально подобранных торфодревесных смесей;

– обосновать режимы получения добавок на основе термомодифицированных торфов для цементных строительных смесей;

– разработать практические рекомендации и нормативную документацию на теплоэффективные строительные материалы и технологию изготовления изделий из модифицированных торфодревесных смесей;

– осуществить апробацию результатов научных исследований в производстве теплоэффективных строительных материалов с использованием модифицированного торфа и определить технико-экономическую эффективность разработанной технологии.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Получены новые знания о физико-химических процессах структурообразования вяжущего из модифицированных торфов различных типов в композиции с древесным

заполнителем, и на этой основе разработаны составы и обоснованы процессы изготовления композиционных строительных материалов. Основные научные результаты, полученные при выполнении диссертационных исследований, состоят в следующем:

1. Предложена структурная модель торфяного сырья, применительно к производству строительных материалов, в которой систематизированы научные данные о составе, структуре, свойствах торфа и способах его модифицирования с целью регулирования структур твердения в технологии получения строительных материалов различного функционального назначения, строительно-технические свойства которых зависят преимущественно от соотношения органической и минеральной частей торфа.

2. Установлено, что при механохимической активации низинного торфа (содержание минеральной части 10–25 %) в воде и водных растворах с $\text{pH} = 8\text{--}10$, происходит деструкция органической части, а также гидролиз и гидратация неорганических соединений. В результате формируются новые органоминеральные комплексы и минеральные соединения, обладающие вяжущими свойствами. За счет интенсификации процессов ионообменной адсорбции, образования мновалентных ионных комплексов с высокими значениями энергии связи увеличивается скорость формирования новообразований. При механохимической активации верхового торфа (содержание минеральной части менее 5 %) в воде и водных растворах с $\text{pH} = 5\text{--}6$ происходит деструкция, гидролиз и растворение водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, образование солей гуминовых кислот щелочных и щелочно-земельных металлов. Указанные процессы приводят к получению торфоявляющего с прочностью при сжатии 0,6–0,75 МПа, что обеспечивает получение теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов с требуемым уровнем качества.

3. Установлено, что при использовании двухфракционной смеси древесного заполнителя 2,5–1,25 мм и 0,315–0,16 мм с соотношением фракций по массе 50:50, и отношением древесного заполнителя к вяжущему по объему равным 2,4–2,6 получены наибольшие значения прочности торфодревесных материалов. Мелкие фракции древесного заполнителя с большей удельной поверхностью и количеством контактов заполнителя с торфоявляющим обеспечивают однородную, менее дефектную структуру, а крупная фракция способствует увеличению прочности при изгибе, что обусловлено волокнистой структурой древесины.

4. Обоснованы режимы термомодифицирования торфа, позволяющие на основе торфов различных типов и состава получать тонкодисперсные добавки, регулирующие свойства цементных строительных смесей. При термолизе в верховом торфе ($T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$) дополнительно образуются гидрофобные вещества, которые снижают величину капиллярного подсоса цементного камня на 65 %. При термолизе низинного торфа ($T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$)

увеличивается количество активных минеральных и органоминеральных соединений, участвующих в формировании микроструктуры цементного камня. В продуктах твердения цементного камня формируются волокнистые структуры из органоминеральных и минеральных соединений, что объясняет увеличение прочности цементного камня при сжатии на 30 %, а модуля упругости на 60 %.

МЕТОДОЛОГИЯ РАБОТЫ. Методологической основой для решения поставленных материаловедческих и технологических задач является концепция системного подхода, при котором состав, структура, свойства и технология получения композиционных материалов на основе модифицированных торфов представлены во взаимосвязанном виде. Методология работы основана на использовании научных положений строительного материаловедения, развитых школами Ю.М. Баженова, П.И. Боженова, Б.Г. Скрамтаева, И.А. Рыбьева, П.Г. Комохова, Е.М. Чернышова и др. в области структурообразования дисперсных минеральных и органических систем, теоретических положений активации органоминерального сырья в производстве строительных материалов и создания материалов и изделий различного функционального назначения с заданными свойствами. В проводимых исследованиях применялись современные приборы и оборудование для физико-химических исследований Института катализа СО РАН (г. Новосибирск), Центров коллективного пользования национальных исследовательских университетов ТГУ, ТПУ, а также ТГАСУ.

Достоверность и объективность полученных закономерностей и результатов исследований в работе подтверждается согласованием механохимических свойств дисперсных систем с положениями строительного материаловедения, физической и коллоидной химии, обеспечивается методически обоснованным комплексом структурно-чувствительных методов анализа, исследований с использованием современных средств измерений, применением программного комплекса Mathcard для статистической обработки результатов и опытными испытаниями.

Практическая значимость работы состоит:

– в разработке способов модифицирования торфяного сырья и композиционных материалов на их основе и получения данных для проектирования рациональных составов торфодревесных композиций различного назначения и оптимизации технологических параметров их получения;

– в установлении требуемых строительно-технических характеристик теплоэффективных строительных материалов на основе модифицированного торфа в зависимости от типа сырья и технологических режимов их получения. Получены теплоизоляционные материалы со средней плотностью D200–D300, коэффициентом теплопроводности 0,045–0,05 Вт/(мК), и конструкционно-теплоизоляционные материалы с прочностью при сжатии 3,5–6 МПа и

средней плотностью до D500. Предложены составы теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов на основе торфодревесных смесей для производства изделий жилищного строительства;

– в разработке способов получения добавок на основе торфа для регулирования свойств строительных смесей. Показано, что изменение режимов термообработки торфов различных типов позволяет получить полифункциональные добавки в цементные смеси. Установлено, что введение термомодифицированных торфяных добавок в цементные системы увеличивает их прочностные и улучшает гидрофизические характеристики;

– в разработке нормативных и технологических документов для производства теплоэффективных и экологически безопасных строительных материалов с требуемыми параметрами качества и изготовленных с использованием местного сырья.

Реализация результатов исследований. Основные положения и полученные результаты использованы при разработке ТУ 5768-062-02069295-2010 «Плиты торфяные теплоизоляционные модифицированные», ТУ 5735-065-00884306-2009 «Блоки стеновые торфодревесные». Практические рекомендации диссертационной работы внедрены в производстве торфодревесных блоков на ООО «Орловская торфоперерабатывающая компания» (г. Томск), ООО «Асиновский завод строительных материалов» (г. Асино, Томская обл.), ООО «ИСЦ» Стройпроект» (г. Томск), рекомендованы к использованию Центром независимых экспертиз «ТехЭко» (г. Москва) и Департаментом архитектуры и строительства Томской области. Теоретические и экспериментальные результаты исследований, полученные в работе, используются в учебном процессе при чтении лекций и выполнении курсовых и дипломных работ по курсам: строительное материаловедение, безотходные технологии в производстве строительных материалов, местные строительные материалы, теплоизоляционные материалы для студентов специальности 270106, 270103 ТГАСУ, бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

На защиту выносятся следующие положения:

– обоснование структурной модели торфа как сырья для получения композиционных строительных материалов с требуемыми свойствами и модели композиционного торфодревесного материала;

– результаты исследований процессов модифицирования и структурообразования торфяного вяжущего при получении композиционных строительных материалов;

– закономерности влияния рецептурно-технологических факторов на основные физико-механические параметры качества стеновых и теплоизоляционных материалов на основе модифицированных торфов;

– способы и режимы получения модифицирующих добавок на основе торфа для регулирования физико-механических свойств цементных строительной смесей;

– результаты исследований технологических процессов изготовления стеновых и теплоизоляционных изделий на основе модифицированных торфов.

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на международных и всероссийских симпозиумах и конференциях: Международный семинар «Нетрадиционные технологии в строительстве». – Томск, 1999, 2001 гг.; Международная научно-техническая конференция «Архитектура и строительство». – Томск, ТГАСУ, 2002 г.; Научно-практическая конференция «Химия и химические технологии на рубеже тысячелетий». – Томск, ТПУ, 2000 г., Всероссийская конференция «100 лет архитектурно-строительному образованию в Сибири» (Томск, 2002 г.); 4–10-я Международная научно-практическая конференция «Качество–стратегия XXI века» (Томск, 2002–2007 гг.); IV Международный конгресс по энергосбережению в строительстве. – Новосибирск, 2004; 12-я Международная научно-практическая конференция. – Тюмень, 2006 г.; III и IV Международная научно-техническая конференция «Бетон и железобетон в третьем тысячелетии» (Ростов-на-Дону, 2004, 2006 г.); VI Всероссийская научно-практическая конференция «Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья». Белокуриха – Москва, 2006 г.; 15–17 Internationale Baustofftagung (Ibausil). Tagungsbericht – Band 1. – Weimar, 2003, 2006, 2009 гг.; Международная научно-техническая конференция «Новые энергосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов». – г. Пенза, 2008 г.; Международная конференция «Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири». – Томск, август 2009 г.; IV Академические чтения «Нанотехнологии в строительном материаловедении», БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2009 г.; VI Международная научно-техническая конференция, Академические чтения РААСН. – Казань, 2010 г.; Международная научно-техническая конференция «Строительное материаловедение: состояние, тенденции и перспективы развития». – Новосибирск, 2011 г.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 40 статьях, 13 статей из которых опубликованы в профильных журналах, рекомендованных ВАК РФ для докторских диссертаций. Результаты исследований обобщены в двух монографиях. Новизна научно-технических решений подтверждена четырьмя патентами РФ на изобретение и патентом на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав основного текста и заключения, изложенных на 335 страницах машинописного текста, включая 99 рисунков, 61 таблиц и библиографический

список из 370 наименований. Автор выражает благодарность за содействие в организации физико-химических исследований д.т.н., профессору Ю.С. Саркисову и электрофизических исследований торфяного вяжущего к.т.н., профессору В.Н. Сафронову.

Содержание работы

В первой главе диссертации приведены сведения о достигнутых результатах в области создания строительных материалов на основе торфа, обоснованы цели и задачи исследований. Востребованность теплоэффективных материалов объясняется ростом цен на теплоносители и повышением нормативных требований по теплозащите зданий и сооружений. Разработка стеновых и теплоизоляционных материалов с низкой теплопроводностью и высокой долговечностью, с максимальным использованием местных экологически чистых сырьевых ресурсов и снижение транспортных расходов позволят обеспечить недорогими ресурсами малоэтажное и индивидуальное строительство.

Особенностью сырьевой базы Сибири является наличие в больших объемах органоминерального природного сырья и отходов производства, на базе которых, используя инновационные технологии, можно изготавливать конкурентоспособные стеновые и теплоизоляционные материалы для малоэтажного строительства. Таким сырьем являются торф и отходы лесобработки. Западная Сибирь является крупнейшим торфяным регионом мира и обладает запасами торфа более 119 млрд тонн, из них торфов низинного типа – 20 %, верхового типа – 57 %, переходного типа – 23 %. По результатам проведенного анализа составов и физико-химических свойств низинных и верховых торфов сделан вывод о перспективности их использования в сочетании с органическими и минеральными компонентами для производства композиционных строительных материалов различного функционального назначения. Установлено, что направленное изменение структуры, состава и свойств торфа при модифицировании с целью получения на его основе строительных материалов возможно благодаря:

- наличию в нем гидрофильных и гидрофобных активных функциональных групп;
- его агрегатному состоянию, существенно зависящему от вида и свойств дисперсионной среды;
- способности компонентов торфа при определенных условиях взаимодействовать друг с другом либо через молекулы воды, либо путем обмена между ионами многовалентных металлов;
- проявлению свойств парамагнетизма и других электрофизических характеристик.

Имеющиеся теоретические знания и практические рекомендации по использованию торфяного сырья недостаточны для научного обоснования

направленного управления структурами твердения модифицированных торфяных композиций на микро- и макроуровне и технологических приемов получения на их основе композиционных строительных материалов с требуемыми эксплуатационными свойствами. Эти данные свидетельствуют об обоснованности цели и способов ее достижения, сформулированных во введении.

Во второй главе для решения поставленных задач предложена двухкомпонентная модель композиционного материала – заполнитель и торфяное вяжущее. Заполнитель обеспечивает получение пространственного каркаса, а торфяное вяжущее, свойства которого можно регулировать путем модифицирования торфа, склеивает зерна заполнителя и заполняет пустоты каркаса, обеспечивая получение монолитного материала. При формировании рациональных структур твердения композиционных теплоизоляционных и стеновых материалов важным условием для обеспечения согласованной работы компонентов является совместимость вяжущего и заполнителя по составу, структуре и деформативным характеристикам. Данные требования обеспечиваются использованием древесного заполнителя. В предлагаемой физической модели большое внимание уделяется управлению процессами физико-химического взаимодействия обводненных частиц вяжущего с поверхностью зерен заполнителя. Подобная модель рассматривалась для цементобетона в трудах И.Н. Ахвердова, Ю.М. Баженова, П.И. Боженова, Е.М. Чернышова, В.Г. Хозина, А.П. Пичугина и др. Для повышения качества разработанных материалов на стадии изготовления формируются дополнительные структурные элементы: микропоры, армирующие волокна, и др. Научно обоснованный выбор исходных компонентов базируется на системном представлении об их генезисе, составе, структуре, свойствах и способах переработки с учетом всех этапов жизнедеятельности изделий из композиционных теплоэффективных торфяных материалов. Формирование композиционных материалов на основе торфа с регулируемыми и прогнозируемыми свойствами возможно на основе знаний отдельных структурных элементов природного сырья с учетом вероятного взаимодействия между ними (рисунок 1). В работе рассмотрена модель тофодревесного материала в зависимости от содержания в нем матричной и наполняющей составляющей. Автором предложена классификация торфяного сырья, которая позволяет систематизировать научные данные о составе, структуре, свойствах и особенностях внешних воздействий на торф с целью направленного использования его в технологиях получения строительных материалов разного функционального назначения.

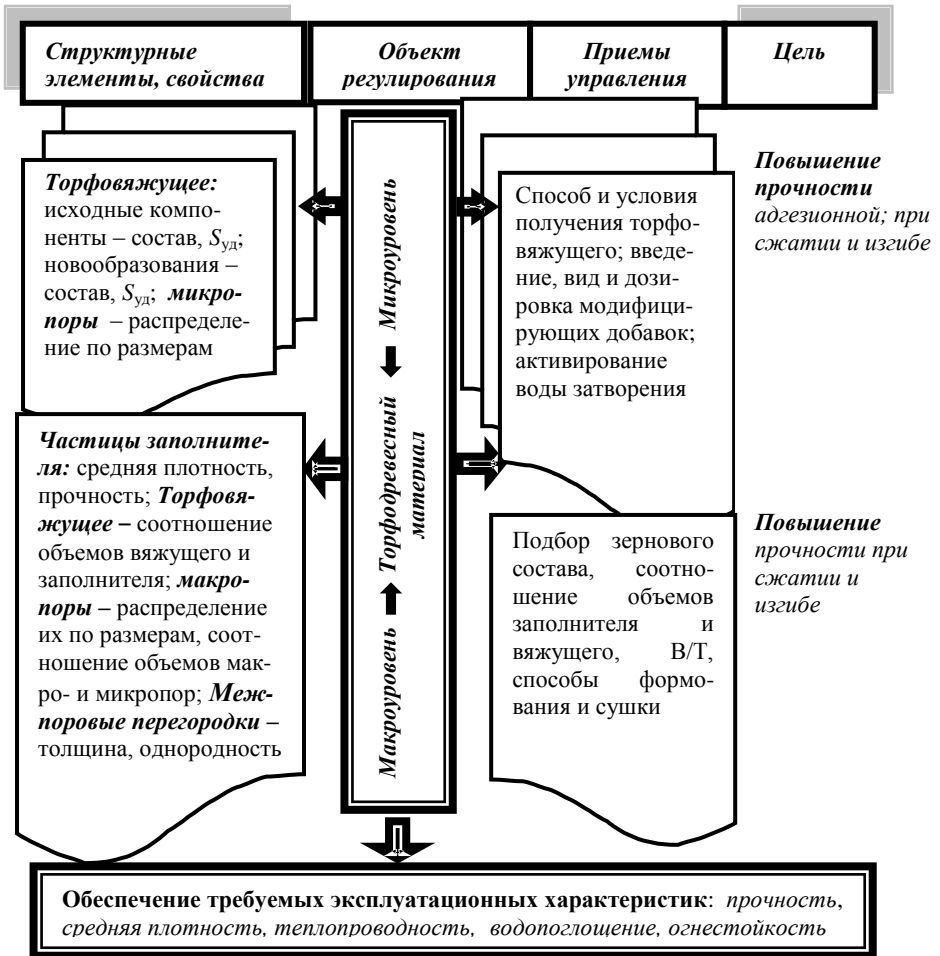


Рисунок 1 – Схема управления элементами структуры и свойствами торфодревесных теплоэффективных материалов

В предложенной модели торф представлен различными полифункциональными соединениями с сочетанием коллоидных и высокомолекулярных соединений, обладающих признаками полиэлектролитов и микро мозаичной гетерогенности с существованием ряда поверхностно развитых функциональных групп. Существенные различия торфов по составу и содержанию функциональных групп, органических и минеральных веществ, связаны с типом торфа и степенью разложения. Соотношение основных групп

органических соединений во многом определяет физико-химические и физико-механические свойства торфа.

Для оценки возможности получения из данного сырья строительных материалов требуемого функционального назначения, торф в первую очередь учитывается содержание гидрофильных и гидрофобных групп. Гидрофильность торфа обусловлено наличием в структуре его компонентов активных функциональных групп (COOH, OH- и др.). Гидрофобные составляющие торфа представлены в основном битумами. Гидрофобность торфа увеличивается от низинного торфа к верховому, что показывает целесообразность применения модифицированного торфа в композиционных строительных материалах и позволяет сформулировать гипотезу о возможности получения гидрофобизирующих добавок на основе верховых торфов. По высокому содержанию лигнина (природного ПАВ) в низинном торфе прогнозируются его клеящие свойства и возможность получения пластифицирующих добавок на его основе. Когезионные, адгезионные, ионообменные, гидро- и теплофизические свойства торфов в значительной степени зависят от гуминовых веществ, содержание которых снижается при переходе от низинного торфа к верховому. Содержание ионогенных веществ – полиэлектролитов в торфе уменьшается от низинного типа к верховому, что обеспечивает способность низинного торфа к диссоциации в различных средах. Большое значение для прогнозирования свойств строительных материалов с использованием торфяного сырья имеют количество и состав минеральной части торфа (зольности), которая снижается при переходе от низинных торфов к верховым. Установлено, что, чем выше содержание минеральной части в торфе, тем в большей степени он обладает вяжущими свойствами. Катионы кальция являются регуляторами химических процессов, влияя на структуру коллоидно-высокомолекулярной составляющей, а также участвуют в ионообменных реакциях, в реакциях гидратации и гидролиза торфа в процессе его активации и модификации. Таким образом, зная тип торфа и его состав, можно обосновывать способы модифицирования торфов и свойства получаемых на их основе строительных материалов. Предложенная автором классификация торфов по компонентному составу, структуре, свойствам позволяет использовать ее при разработке процессов изготовления строительных материалов, применяя те же подходы, что и к традиционному сырью. Обобщенная модель торфяного сырья как объекта исследования при разработке составов и процессов изготовления теплоэффективных композиционных материалов и полифункциональных добавок для строительных смесей, представлена на рисунке 2.

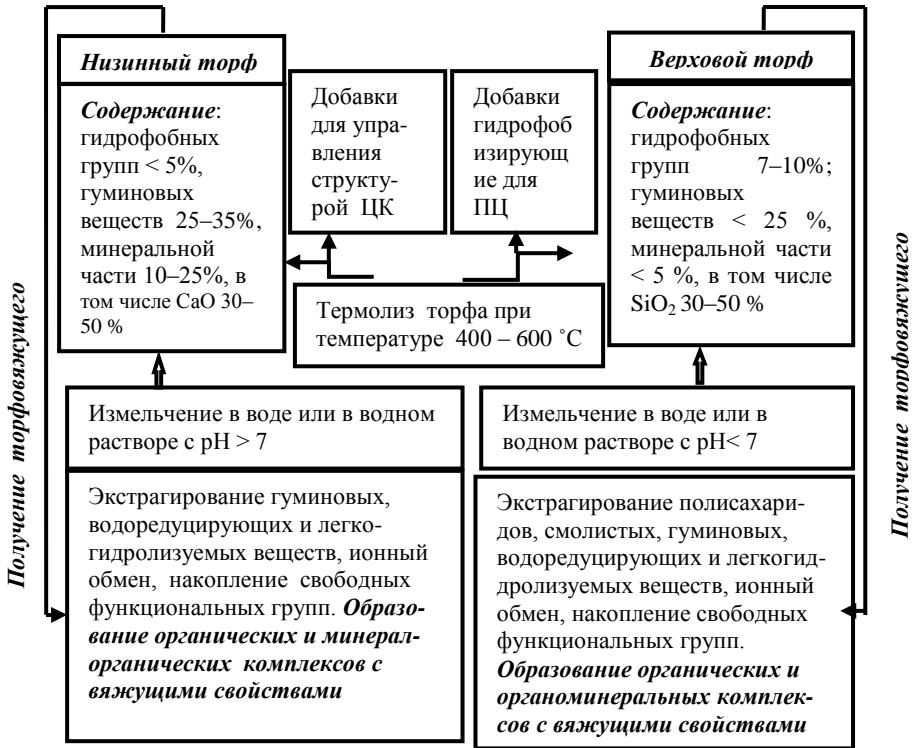


Рисунок 2 – Обобщенная модель объектов исследования

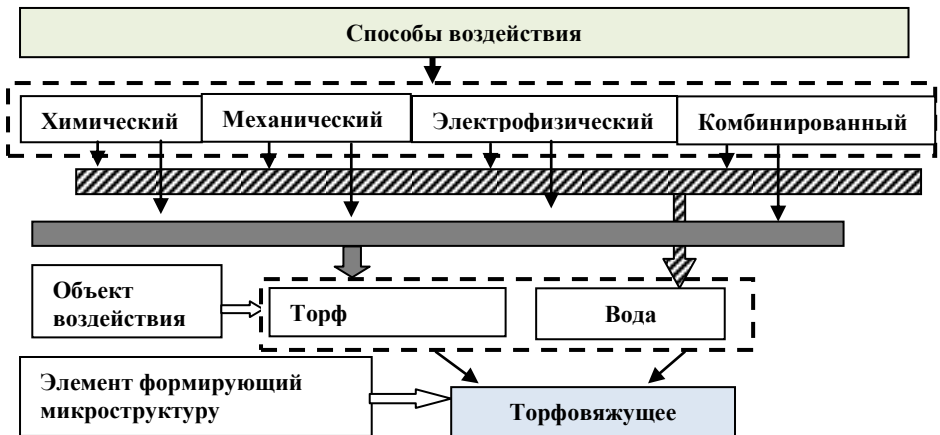


Рисунок 3 – Способы модификационного воздействия на компоненты композиционных строительных материалов на основе торфа формирующих микроструктуру

Обоснованная совокупность структурных факторов реализована при постановке экспериментальных исследований и разработке прикладных решений в технологии получения композиционных торфодревесных материалов.

Предложены и реализованы схемы (рисунок 3) возможных способов направленного регулирования структуры на микро- и макроуровне и свойств композиционных материалов на основе торфа.

В третьей главе обоснованы способы получения торфяного вяжущего при изготовлении композиционных строительных материалов. Впервые исследовались закономерности процессов структурообразования и формирования свойств торфоявящего в зависимости от способов и режимов механической и механохимической активации торфа. Исследования проводились на торфах разного типа и группового состава месторождений Томской и Тюменской областей. Исследовались следующие способы активации: диспергирование в сухом состоянии, в воде при температуре 20 и 90 °С (температура максимальной экстракции гуминовых веществ торфа), в щелочной среде (концентрация NaOH – 5 %), в кислой среде (концентрация H₂SO₄ – 5 %). Закономерности структурообразования торфоявящего исследовались на макроуровне (физико-механические свойства) и на микроуровне (*РФА, ИКС, ДТА, электронная микроскопия*). Рациональное время измельчения торфа в различных средах и помольном оборудовании соответствует началу агрегации частиц в процессе диспергирования и, как следствие, снижения прочностных характеристик вяжущего. Механические характеристики торфоявящих, полученные при различных способах модифицирования, представлены на рисунке 4.

Сухой помол торфа наименее эффективен, что объясняется затратами энергии только на процесс диспергирования материала, затрагивая, преимущественно грубые фракции ($d = 4\text{--}8$ мк). Более высокие значения прочности при сжатии и сцеплении получены при сухом помоле низинного торфа в планетарной мельнице, что связано с его высокой степенью разложения и, как следствие, меньшим содержанием волокон, затрудняющих диспергирование.

Значения прочности торфоявящего при изгибе (сухой помол), наоборот, выше у вяжущего из верхового торфа, что объясняется наличием в структуре торфа волокнистых включений, для измельчения которых требуются дополнительные усилия, а образующиеся микроволокна армируют торфоявящее. При измельчении торфа в воде с водотвердым отношением В/Т = 2,8 и температуре 20 °С в нем с большей скоростью инициируются вяжущие свойства, значительно на (60–70 %) увеличиваются прочностные характеристики торфоявящего. Более эффективен этот способ активации для низинного торфа. Диспергирование низинного торфа в горячей воде повышает прочность торфоявящего на 70–85 %.

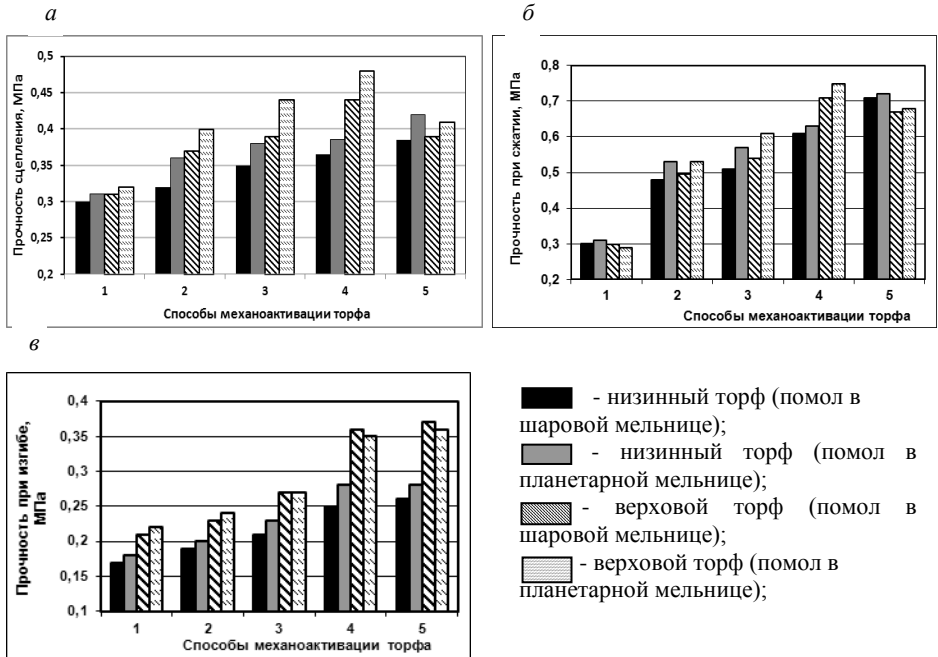


Рисунок 4 – Характеристики торфоважущего: *а* – прочность сцепления, *б* – прочность при сжатии, *в* – прочность при изгибе; при измельчение: 1– в сухом состоянии; 2– в воде при температуре 20°С; 3– в воде при температуре 90°С; 4– в кислой среде; 5– в щелочной среде

В верховом торфе прочность увеличивается соответственно на 65–70 % и на 80–110 % (в зависимости от типа мельницы). Вода при диспергировании торфа способствует экстрагированию гуминовых, легкогидролизуемых и водоредуцирующих органических составляющих торфа, что увеличивает его адгезионно-когезионные свойства как вяжущего. При измельчении в кислой и щелочной средах существенно увеличиваются адгезионные и прочностные характеристики, причем верховой торф подвержен в большей степени кислотному гидролизу, а низинный – щелочному (рисунок 4). Существенное повышение прочности торфоважущего на 10 – 40 %, по сравнению с механоактивацией в воде, установлено при диспергировании низинного торфа, в минеральной части которого преобладают положительно заряженные ионы Ca^{2+} , в щелочной среде. Повышение pH водной среды вызывает увеличение степени ионизации активных групп и, следовательно, интенсивное сшивающее действие многовалентных катионов и пептизирующее одновалентных. Наибольший

эффект при синтезе структурообразующих веществ в верховом торфе наблюдается в условиях его измельчения в кислой среде. Прочность образцов после механохимической активации при разных видах нагружения повышается на 12–36 %, по сравнению с измельчением в водной среде. При диспергировании верхового торфа в кислой среде, в результате обменной реакции между водородом кислых функциональных групп гуминовых кислот торфа и катионами, образуются соли гуминовых кислот, щелочных и щелочно-земельных металлов. На ИК-спектрах идентифицируются функциональные группы полимерных соединений (область 3200–3400 см⁻¹), наблюдается увеличение интенсивности полос групп C=O (1460–1410 см⁻¹), обеспечивающих в дальнейшем протекание реакций карбонизации в торфявящем, появляются пики силикатных и кремнийорганических соединений (1100–1000 см⁻¹, 1020–1276 см⁻¹ соответственно), а в областях (1450–1410, 880–860 см⁻¹) – карбонаты, 1100–900 см⁻¹ – силикаты и 1130–1080 см⁻¹ – сульфаты. На рентгенограммах отмечается появление новых кристаллических фаз: CaCO₃, Ca(OH)₂, CaSO₄·nH₂O, CaO·SiO₂·H₂O, CaO·SiO₂·1,5H₂O, Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O и др. Физико-химическими исследованиями установлено, что процессы структурообразования при механохимической активации верхового торфа связаны с перестройкой органической части, а для низинного – они дополняются реакциями гидролиза и гидратации неорганических соединений, в результате которых формируются как новые органоминеральные структурообразующие комплексы, так и минеральные вяжущие соединения магниальных, карбонатных, гипсовых и зольных типов, что приводит к повышению прочности торфявящего. Таким образом, установлена возможность инициирования вяжущих свойств в торфе при механической и механохимической активации в различных условиях. Полученное торфявящее твердеет при температуре 20–100 °С в результате реакций полимеризации и поликонденсации органической части торфа, а также гидратации и гидролиза его минеральной части и образования сложных органоминеральных соединений. Установленные закономерности механохимической активации торфа позволили обосновать способы и режимы диспергирования торфа в водных растворах в зависимости от типа и группового состава и обеспечения необходимых характеристик торфяного вяжущего.

Так как наибольший положительный эффект модифицирования и структурообразования торфявящего получен при измельчении торфа в воде, было сформулировано предположение о возможности интенсификации твердения торфяного вяжущего путем электрофизической активации воды затворения. Применение воды, обработанной магнитным полем, обеспечивает повышение содержания частиц в торфявящем с повышенной магнитной восприимчивостью, что ускоряет химическое взаимодействие компонентов

торфа и влияет на процессы структурообразования торфоявляющего. Исследовано влияние на свойства торфоявляющего воды затворения после магнитной (цикловая обработка воды с индукцией магнитного поля 40 мТл и временем обработки в диапазоне 0–200 с), электрохимической (двухкамерный электролизер проточного типа переменного тока на положительном аноде) и комбинированной обработки (таблица 1).

Таблица 1– Свойства торфоявляющего с использованием активированной воды затворения *

№ пп	Показатели	Тип воды затворения					
		Водопроводная	Омагниченная	Кислая, рН=5	Щелочная, рН=9	Кислая и магнитная активация	Щелочная и магнитная активация
1	Прочность при сжатии, МПа	<u>0,54</u> 0,58	<u>0,77</u> 0,79	<u>0,73</u> 0,80	<u>0,76</u> 0,73	<u>1,13</u> 1,25	<u>1,23</u> 1,02
2	Прочность при изгибе, МПа	<u>0,26</u> 0,30	<u>0,31</u> 0,34	<u>0,31</u> 0,45	<u>0,42</u> 0,33	<u>0,39</u> 0,65	<u>0,68</u> 0,36
3	Средняя плотность, кг/м ³	<u>232</u> 230	<u>241</u> 236	<u>238,3</u> 231,2	<u>229,5</u> 230,5	<u>342,0</u> 340,0	<u>343,6</u> 340,2
4	Водопоглощение, %	<u>148</u> 140	<u>75,0</u> 70,0	<u>142</u> 130	<u>136</u> 132	<u>90,5</u> 72,0	<u>71,5</u> 82,3

* в числителе данные по низинному торфу, в знаменателе по верховому.

Из данных таблицы 1 следует, что использование воды с рН = 5 приводит к увеличению прочностных характеристик торфоявляющего (низинный торф) на 35 %, а с рН = 9 – на 40 %, по сравнению с контрольными образцами, приготовленными с применением водопроводной воды. Существенное изменение прочностных характеристик вяжущего на основе низинного торфа установлено после комбинированной активации воды (щелочная и магнитная): прочность при сжатии увеличивается с 0,54 до 1,23 МПа, а при изгибе – с 0,26 до 0,68 МПа (патент на полезную модель № 90090). Для образцов на основе верхового торфа прочностные характеристики увеличиваются на 38 % (вода с рН = 5) и на 25 %, (вода с рН = 9). Использование комбинированной активации воды затворения (кислая и магнитная активация) приводит к увеличению прочности при сжатии торфоявляющего (торф верховой) с 0,58 до 1,25 МПа, а при изгибе – с 0,30 до

0,65 МПа. Во всех случаях применение воды затворения после магнитной активации приводит к существенному снижению водопоглощения торфоважущего. Затворение торфоважущего (на основе низинного торфа) омагниченной водой способствует интенсивному обмену ионов Ca^{2+} на катионы Na^+ , что приводит к деформации диффузионного слоя. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению количества связанной торфяными частицами воды и, следовательно, к уменьшению средней толщины гидратных оболочек. Создаются условия для более полного проявления сил межмолекулярного взаимодействия частиц и более эффективного распределения воды по торфяной массе с преобладанием в ней закрытых микро- и ультрадисперсных пор. Улучшаются условия для смачивания и прилипания полученного торфоважущего к частицам древесного заполнителя, что приводит к существенному уменьшению значения величины водопоглощения торфодревесного материала и увеличению прочностных характеристик. Физико-химическими исследованиями установлено, что при использовании активированной воды на ИК-спектрах наблюдается сдвиг частот поглощения для всех способов активации в сторону увеличения, что указывает на повышение энергии химических связей. В области $3500\text{--}3800\text{ см}^{-1}$ на спектрограммах щелочной активированной воды наблюдаются двойные пики, связанные с полимеризацией ОН-групп воды после комбинированной обработки, что указывает на поликонденсационный механизм сшивки структуры торфа. Характер изменения прочностных характеристик торфоважущего при твердении 28 суток зависит от температурно-влажностных условий среды (рисунок 5). Так, вяжущее на основе верхового торфа набирает максимальную прочность при повышенной температуре, что

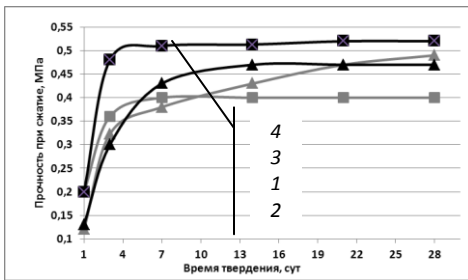


Рисунок 5 – Изменение прочностных характеристик торфодревесных образцов в процессе твердения: 1 – торф низинный, естественное твердение; 2 – торф низинный, сушка при $90\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – торф верховой, естественное твердение; 4 – торф верховой, сушка при $90\text{ }^{\circ}\text{C}$

объясняется изменением структуры органических соединений в торфе при нагревании. Вяжущее на основе низинного торфа, твердеющее в естественных условиях, набирает максимальную прочность к 28 сут. Этот процесс сопровождается значительным ростом прочности в начальный период и последующей стабилизацией после 14 сут. Таким образом, установленные закономерности процессов структурообразования в торфоважущем позволяют направленно влиять на процессы формирования микроstructures

композиционных строительных материалов на основе модифицированного торфа, обеспечивая ему требуемые параметры качества.

В четвертой главе исследованы структурообразующие и технологические принципы управления качеством стеновых и теплоизоляционных композиционных торфодревесных строительных материалов на модифицированном торфяном вяжущем. За критерии оценки качества строительных материалов приняты: средняя плотность, прочность, теплопроводность, водостойкость и усадка. Наиболее эффективными направлениями для улучшения данных характеристик торфодревесных материалов являются:

- обоснование зернового состава заполнителей с целью обеспечения механического каркаса требуемой прочности и средней плотности;
- повышение связующей способности торфяного вяжущего при обеспечении высокой пористости;
- улучшение свойств контактной зоны «торфяное вяжущее – заполнитель» с увеличением адгезионной прочности.

Установлены закономерности управления макроструктурой торфодревесных композитов по критерию прочности и средней плотности с учетом зернового состава заполнителя и отношения твердой фазы смеси (заполнителя) к вяжущему (Z/V). Для торфодревесных смесей эти закономерности ранее не исследовались.

Прочностные характеристики при сжатии торфодревесного композита всегда выше в тех случаях, когда в смеси имеются мелкие фракции древесного заполнителя – 0,315–0,16 (рисунок 6).

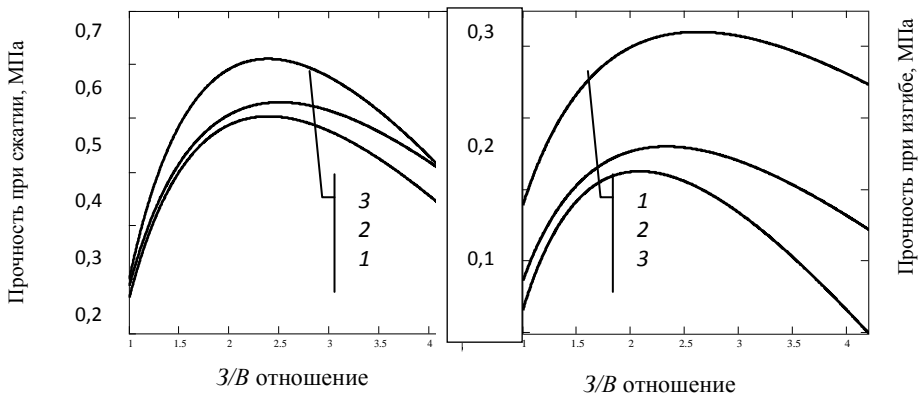


Рисунок 6 – Зависимость прочности торфодревесного композита от Z/V отношения и двухфракционном заполнителе:

1 – фр. 2,5-1,25 : 1,25-0,63; 2 – фр. 2,5-1,25 : 0,63-0,315; 3 – фр. 2,5-1,25 : 0,315-0,16;

мен

50 : 50

50 : 50

50 : 50

менее дефектную структуру, и, следовательно, более высокую прочность. С увеличением содержания в смеси крупных фракций древесного заполнителя прочность при сжатии торфодревесных композитов снижается, а области оптимальных значений отношения твердой фазы к вяжущему смещаются в сторону больших величин $3/B$ (от 2,4 до 3,2). Иная зависимость наблюдается при определении прочности образцов при изгибе. Прочность при изгибе торфодревесного композита всегда выше в тех случаях, когда в смеси преобладает крупная фракция древесного заполнителя – 2,5–1,25. Данная закономерность относится к монофракционным и к двухфракционным смесям. При этом области оптимальных значений $3/B$ отношения смещены в сторону увеличения (от 2,8 до 3,4), что может быть объяснено фибриллярной структурой волокон древесины. С увеличением содержания в смеси мелких фракций древесного заполнителя прочность при изгибе торфодревесных композитов снижается, а области оптимальных значений $3/B$ отношения смещаются от 2,8 до 2,2. Значительное увеличение прочности материала наблюдается при использовании в качестве древесного заполнителя опилок прерывистого двухфракционного состава с соотношением размеров зерен равным 4, например, смесь фракций прерывистой гранулометрии 2,5–1,25 мм и 0,63–0,315 мм в соотношении 50:50, что хорошо коррелируется с ранее полученными научными результатами о формировании каркасной структуры в цементобетоне.

При использовании древесного заполнителя рационально подобранного гранулометрического состава был получен базовый торфодревесный материал со следующими характеристиками:

$\rho_m = 300\text{--}310 \text{ кг/м}^3$, $R_{сж} = 0,60\text{--}0,75 \text{ МПа}$, $R_{изг} = 0,22\text{--}0,28 \text{ МПа}$, $\lambda = 0,065\text{--}0,07 \text{ Вт/(м·К)}$, $V_{об} = 21\text{--}23 \text{ \%}$.

Определена зависимость прочности торфодревесного композита от исследуемых параметров: $R = a \ln 3/B - b (3/B)^{1/2} - c$,

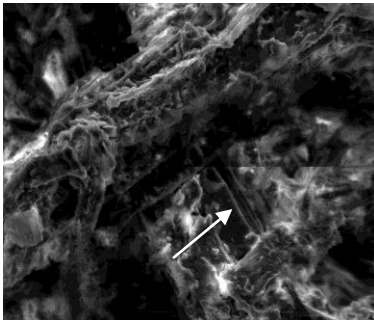
где a , b и c коэффициенты: a – учитывает прочность торфодревесного материала в зависимости от зернового состава заполнителя; b – учитывает снижение прочности в результате структурных изменений в торфодревесном материале при его твердении (увеличение пористости, снижение плотности, появление дефектов); c – учитывает напряжение, возникающее в волокнах древесного заполнителя от действия усадочных деформаций в твердеющем торфоважущем.

Для получения конструкционно-теплоизоляционных материалов используемых для устройства стен на основе модифицированных торфодревесных композиций исследованы приемы повышения их прочности и снижения усадки при сохранении средней плотности и теплопроводности. В верховом торфе ассоциаты имеют однородную рыхлую структуру. Усадка материала при сушке в этом случае идет равномерно во всем объеме без

образования большого числа дефектов в структуре, что и подтверждается достаточно высокой прочностью продукции на основе верхового торфа. Поэтому при разработке стеновых конструкционно-теплоизоляционных торфодревесных материалов и технологии их получения исследования проводились на верховых торфах ряда месторождений Томской области. Изучалось влияние органических и минеральных армирующих добавок, повышающих когезионные свойства матрицы торфодревесных материалов. Выявлены оптимальные условия совмещения органоминеральной матрицы торфоявляющего с различными видами армирующих волокон из полипропилена.

Установлено существенное повышение прочности изделий при введении в формовочную смесь полипропиленового волокна, полученного путем фибрилляции. Положительный эффект от действия армирующих добавок усиливается при тепловой обработке отформованных образцов при 130 °С в течение 15–20 мин. Армирующие волокна переходят в высокопластичное состояние, окончания волокон срачиваются между собой (рисунок 7), что позволяет при остывании получить более прочный пространственный каркас композиционного материала. Шероховатость поверхности фибриллизованного волокна обеспечивает и более прочное сцепление с торфоявляющим. Прочность при сжатии армированных торфодревесных материалов повышается до 4,5 МПа, при изгибе – до 3,5 МПа, при средней плотности 340 кг/м³, водопоглощение снижается до 7 %, а объемная усадка – до 12 % (патент РФ 2307813).

а



б

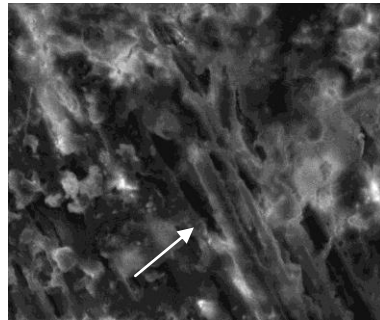


Рисунок 7 – Структура торфодревесного материала армированного фибриллированным полипропиленовым волокном (x 2000): а – тепловая обработка образцов при температуре 85 °С; б – тепловая обработка образцов при температуре 130 °С

Для повышения прочности и модуля упругости, снижения средней плотности и усадки торфодревесных композиционных материалов в

конструкционно-теплоизоляционный материал вводились полимерные добавки: модифицированная поливинилацетатная эмульсия Мм до 1,6 млн (ПВА), сополимерная эмульсия Мм до 20 млн (СЭ), атактический полипропилен Мм до 3 млн (АПП). Установлено, что при введении полимерных добавок в количестве 2–3% от массы торфоявляющего, прочность при сжатии торфодревесных материалов увеличивается на 20–30 %, при изгибе – на 25–36 %, водопоглощение снижается на 23–40 %, а объемная усадка до 12 % (рисунок 8).

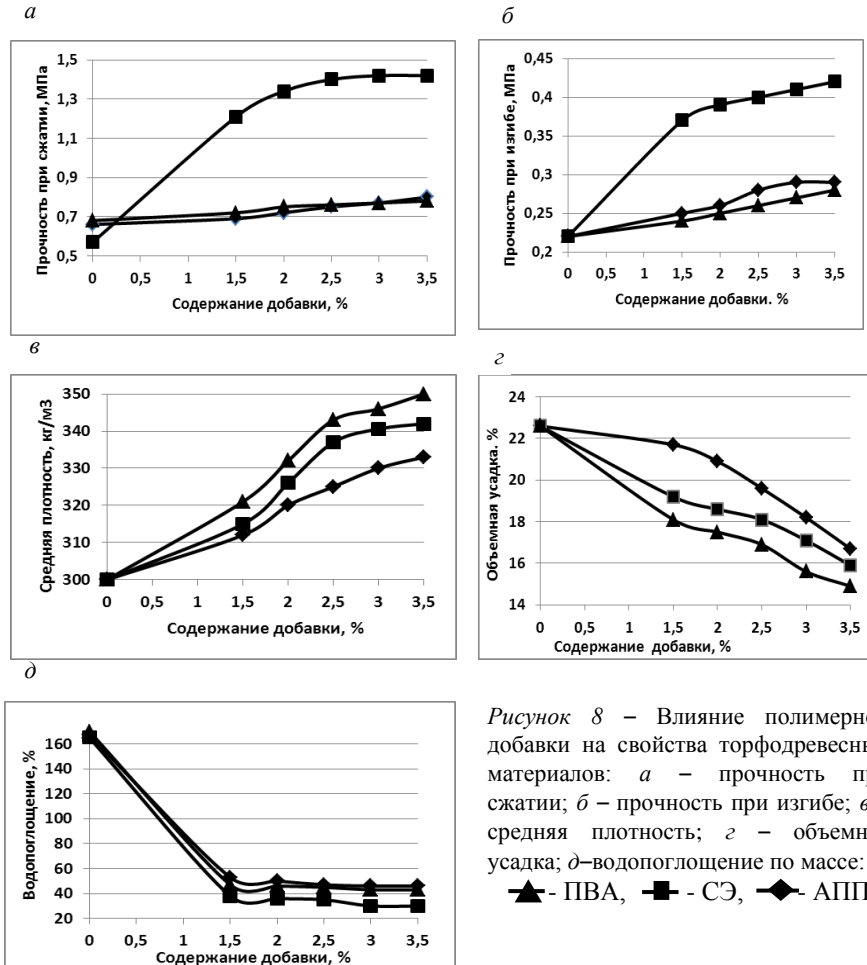


Рисунок 8 – Влияние полимерной добавки на свойства торфодревесных материалов: а – прочность при сжатии; б – прочность при изгибе; в – средняя плотность; г – объемная усадка; д – водопоглощение по массе: ▲ – ПВА, ■ – СЭ, ◆ – АПП

Установлено: 1 – чем выше молекулярная масса полимерной добавки, тем больше она влияет на формирование структур твердения торфодревесных

материалов; 2 – структурирующая роль полимерной добавки зависит от водотвердого отношения в формовочной торфодревесной смеси. Для исследуемых композиций рекомендуемые значения V/T находятся в интервале 2,0–2,2; 3 – наибольший эффект по улучшению качества торфодревесной композиции получен при использовании сополимерной эмульсии в количестве 2,5–3,0 % от массы торфоважущего.

Для снижения усадочных деформаций и повышения прочностных характеристик торфодревесного модифицированного стенового материала вводилась микроармирующая, пористая добавка микрокремнезема. При содержании микрокремнезема 10 % от массы смеси прочность на сжатие торфодревесного композиционного материала повышается до 6,0 МПа, а усадочные деформации снижаются до 5 % (таблица 2).

Таблица 2 – Свойства торфодревесных смесей с микронаполнителем

№ пп	Состав формовочной смеси, % по массе					Физико-механические характеристики образцов				
	Торф овяж ущее	Опи лки	Мик рокр емн езем	СЭ	В/Т	$\rho_{м\cdot}$, кг/м ³	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	$W_{м}$, %	Объемн ая усадка, %
0	22	75	-	3	2,0	308	1,42	0,41	30	17,1
1	22	72,5	2,5	3	2,0	384	2,56	1,52	29	13,7
2	22	70	5,0	3	2,0	400	4,50	2,76	25	10,3
3	22	67,5	7,5	3	2,0	415	5,34	2,91	25	4,8
4	22	65	10,0	3	2,0	435	5,68	2,98	22	4,6
5	22	62,5	12,5	3	2,0	460	5,72	3,00	22	4,0
6	22	60	15,0	3	2,0	480	6,00	3,15	22	4,0

Для обоснования возможности применения полученных составов торфодревесных композиций при изготовлении конструкционно-теплоизоляционных стеновых материалов (блоков, камней) исследованы их деформативные характеристики. Деформационные кривые торфодревесных материалов с исследуемыми добавками, полученные на испытательной машине Instron 3382, представлены на рисунке 9.

Для базового состава торфодревесного материала диаграмма «напряжение-деформация» имеет упругопластический характер с модулем упругости 83,3 МПа. Введение добавки полимера (СЭ) в торфодревесную формовочную смесь не оказывает существенного влияния на характер диаграммы деформации образцов, при этом модуль упругости увеличивается на 36 %. Диаграмма деформации торфодревесных материалов с комплексной упрочняющей добавкой (СЭ+МК) представлена билинейной зависимостью с начальным модулем упругости 550 МПа.

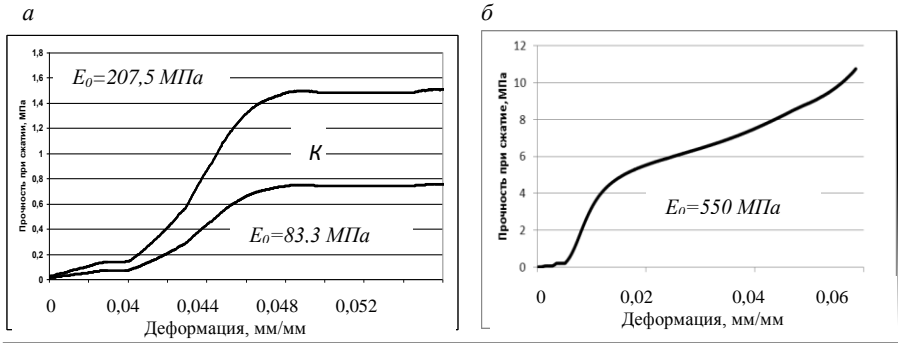
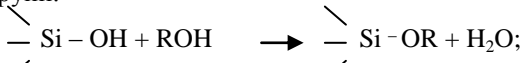


Рисунок 9 – Диаграмма деформации модифицированных торфодревесных материалов: а – с добавкой СЭ; б– с комплексной добавкой СЭ и МК

Физико-химическими исследованиями торфяного вяжущего установлено, что:

– в спектре поглощения торфяного вяжущего с комплексной упрочняющей добавкой наблюдается уменьшение интенсивности полос 3100–3600 см^{-1} ОН-групп. Это может быть связано с этерификацией гидроксильных групп:

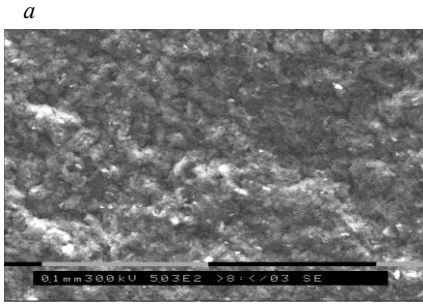


– полоса поглощения Si-O – связи при 1048 см^{-1} совмещается с полосами поглощения Si-C₆H₅ (1116 см^{-1}), кремнийорганических соединений Si(CH₃)₂ – 815 см^{-1} и Si-O-C– 1090–1020 см^{-1} , что объясняется формированием прочных связей между молекулами контактирующих веществ за счет их сшивки;

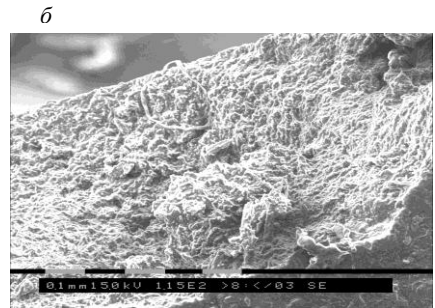
– на термограмме наблюдается сдвиг первого эндоэффекта на 60 °С и появление экзоэффекта при температуре 575 °С. Это можно объяснить образованием органоминеральных кремнийорганических соединений. Наблюдаемый при 550 °С глубокий эндотермический эффект с характерным

перегибом может быть связан с разрушением кремнийкислородного каркаса полимерной молекулы.

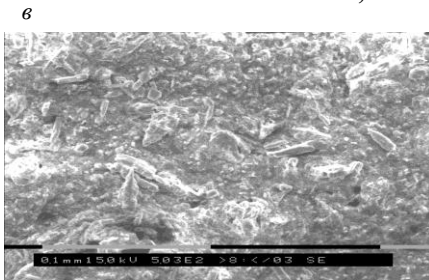
Электронно-микроскопические исследованиями поверхности образцов, проведенными на РЭМ Philips SEM 515 (рисунок 10), установлено изменение морфологии частиц торфа в вяжущем при его модифицировании комплексной добавкой (СЭ+МК). На рисунке 10, б идентифицируются характерные признаки формирования полимерного каркаса в органоминеральной матрице торфа в результате взаимодействия (сшивки) поверхностно-активных веществ торфа и полимерной эмульсии, что объясняет существенное повышение прочности торфодревесных образцов. Введение комплексной упрочняющей добавки (СЭ+МК), рисунок 10, в, приводит к изменению структурной организации торфяного вяжущего, частицы микрокремнезема (2–4 мкм) адсорбируются на полимерную матрицу, образуя кремнийорганические соєдинения.



0,1 мм



0,1 мм



0,1 мм

Рисунок 10 – Электронно-микроскопические снимки модифицированных торфодревесных материалов: а– торф; б– торфвяжущее с добавкой СЭ; в– торфвяжущее с добавкой СЭ+ МК

Повышение прочности образцов при сжатии и изгибе обеспечивается армирующим эффектом микрокремнезема в полимер-органоминеральной матрице торфвяжущего, с образованием кремнийорганических волокон длиной 10–20 и толщиной 1–4 мкм.

По результатам выполненных исследований с учетом физико-механических свойств торфа и торфяного вяжущего было принято целесообразным в качестве основного компонента для изготовления теплоизоляционных материалов использовать низинный торф. Выбор этого типа торфа обоснован тем, что с увеличением степени разложения дисперсность торфа повышается, а структура порового пространства становится более однородной. Размеры водопроводящих путей при этом значительно снижаются. Низинные торфы имеют большую активную поверхность и меньшую величину кинетической удельной поверхности, чем верховые, что обусловлено меньшим содержанием в них связанной воды и коагулированным состоянием их структуры за счет «сшивающего» действия поливалентных катионов. Высокая ионообменная способность низинного торфа позволяет при управлении параметрами качества материалов эффективно использовать различные химические добавки органической и неорганической природы. Эффективность добавок зависит от катионного состава обменного комплекса и определяется емкостью поглощения торфа. Теплоэффективность теплоизоляционного материала на основе торфа зависит от вида и объема пор. Материалы на основе торфодревесной композиции из низинного торфа имеют капиллярно-пористую структуру при коэффициенте теплопроводности $0,07-0,075 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$. В структуре материала преобладают крупные незамкнутые поры, неравномерно распределенные по объему, а при твердении образцов дополнительно появляются усадочные трещины. Теплопередача через материал с такой структурой происходит с большей долей конвективной составляющей. Для получения рациональной поровой структуры торфодревесных композиционных материалов исследовано влияние пенообразующих добавок, выбранных с учетом состава торфа. Известно, что в составе торфа и древесины преобладают отрицательно заряженные функциональные группы типа R-OH , R-COO^- . Для обеспечения стабильности пены, вводимой в торфодревесную смесь, использовались ПАВ с одноименным зарядом или нейтральные пенообразователи. В зависимости от вида пенообразующей добавки и концентрации ее активного вещества в торфоявляющем меняются размеры и количество пор в объеме материала. Эффективность действия пенообразующих добавок на свойства торфодревесных материалов оценивалась коэффициентом конструктивного качества (ККК) (рисунок 11). Установленная связь между значениями средней плотности, теплопроводностью и прочностью разработанных составов от величины приведена на рисунке 12 (патент РФ № 2273620). По результатам анализа экспериментальных данных для создания эффективных теплоизоляционных материалов величина средней плотности должна быть не более 300 кг/м^3 . При меньших значениях средней плотности прочность теплоизоляционных торфодревесных материалов существенно снижается.

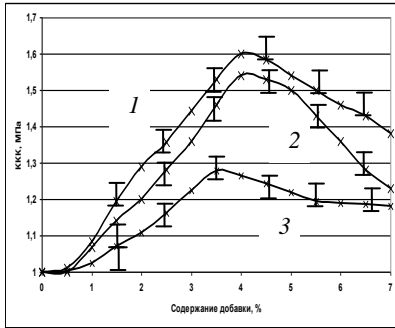


Рисунок 11 – Влияние вида и содержания пенообразующей добавки на ККК торфодревесного теплоизоляционного материала: 1 – Неопор; 2 – БП-2000; 3 – Теас

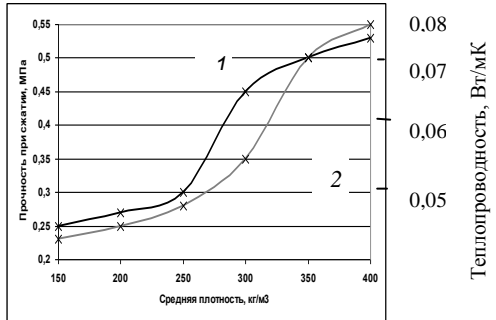


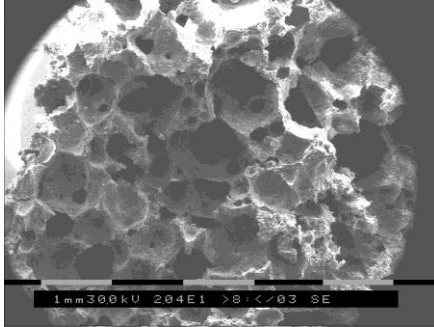
Рисунок 12 – Изменение прочности при сжатии (1) и теплопроводности (2) при увеличении средней плотности поризованного торфодревесного материала

Для повышения прочностных характеристик при сохранении теплоизоляционных свойств исследовалось совместное влияние полимерной (СЭ) и пенообразующей добавок. Пенообразующая добавка смешивалась с полимерной, при этом отмечалось увеличение кратности и стойкости пены на 15–20 %.

При средней плотности 250 кг/м^3 и коэффициенте теплопроводности $0,05 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{К)}$, прочность образцов при 10 % деформации достигала 1 МПа. Поры в поризованном торфоявляющемся (рисунок 13, а) распределяются неравномерно. Структура торфодревесного материала представлена замкнутыми порами правильной формы диаметром от 0,05 до 0,3 мм и крупными порами воронкообразного типа, многие из которых заканчиваются на глубине более мелкими порами. Толщина межпоровых перегородок колеблется от 0,03 до 0,3 мм. В межпоровых перегородках микропоры диаметром до 7 мкм распределены равномерно. При введении комплексной добавки в торфодревесную смесь изменяются микроструктура материала (рисунок 13, б). Ячейки пор преимущественно замкнутые, равномерно распределенные, стенки пор имеют однородную мелкопористую структуру.

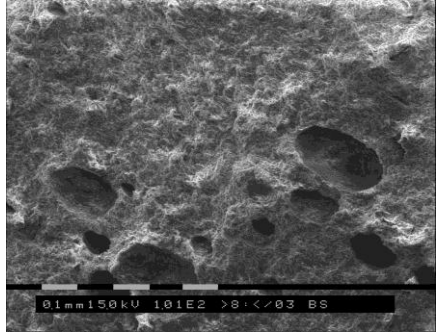
Для повышения водостойкости торфодревесных теплоэффективных материалов обоснован выбор гидрофобизаторов с учетом особенностей физико-химических свойств торфа. Гидрофобизирующие добавки рекомендуется выбирать, исходя из необходимости блокирования отрицательно заряженных функциональных групп торфа.

а

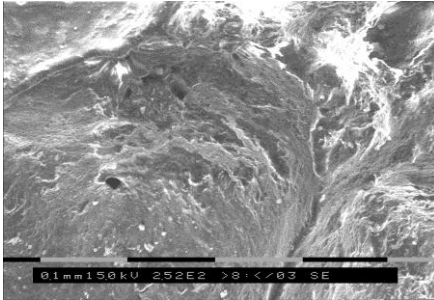


1 мм

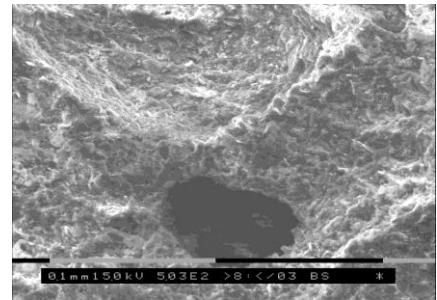
б



0,1 мм



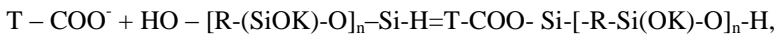
0,1 мм



0,1 мм

Рисунок 13 – Поровая структура торфодревесного материала:
а– с поробразующей добавкой; б– с комплексной добавкой

При введении в торфодревесную смесь метилсиликоната калия его положительно заряженные частицы, адсорбируясь на поверхности функциональных групп торфа и вступая с ними во взаимодействие, блокируют полярные группы торфа, в результате чего на поверхности торфа появляются гидрофобные группы, обеспечивающие повышение водостойкости композиционного материала:



где T – частица торфа с функциональной группой COO^- , R – метильный радикал КОС.

Доказана эффективность повышения водостойкости материала гидрофобизацией поверхности пор на необходимую глубину специальными гидрофобизирующими составами, содержащими неполярные группы,

которые, адсорбируясь на поверхности пор и капилляров, придают ей водоотталкивающие свойства. В работе использовались гидрофобизирующие добавки катионоактивной или неионогенной природы (кремнийорганические жидкости ГКЖ-94 и «Аквасил», латекс СКС-65Г и др.). Показано, что для улучшения гидрофизических характеристик торфодревесного материала рационально применение гидрофобизирующих добавок на основе кремнийорганических жидкостей с применением способа двухступенчатого введения добавки: в количестве 8–10 % от массы торфоявляющего в формовочную смесь с последующей дополнительной поверхностной обработкой. При таком способе обработки водопоглощение материала снижается до 15–18 %. Эффект повышения водостойкости торфодревесных материалов объясняется не только блокированием полярных групп торфа и древесного заполнителя при их химическом или электростатическом взаимодействии с компонентами модифицирующих добавок, но и за счет заполнения порового пространства композиционного материала.

В пятой главе приводится обоснование рациональных составов торфодревесных модифицированных смесей для получения теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных стеновых материалов, а также технологических процессов изготовления изделий. Исследованы особенности процессов формования и сушки торфодревесных изделий. Выбор способа формования зависит от вида изделий и смесей. Конструкционно - теплоизоляционные изделия получают из малоподвижных формовочных смесей с $V/T = 2,0-2,2$. С учетом особенностей упругопластических деформаций торфодревесных смесей исследовались и были приняты режимы формования изделий способом циклического прессования. Поры (пустоты) торфодревесной смеси заполнены водой и процесс уплотнения под действием сжимающих сил осуществляется при условии выдавливания воды из них. Внешняя нагрузка, приложенная к смеси, создает в поровой воде добавочное давление, вследствие чего и происходит ее фильтрация из пор, уменьшение влажности, увеличение плотности торфодревесной смеси. Скорость уплотнения формовочной смеси зависит от интенсивности выдавливания воды из пор и от ползучести каркаса. Механическое воздействие вызывает перевод связанной и иммобилизованной воды в свободное состояние. Эта влага экранирует молекулярные силы сцепления, пространственная структура нарушается, система разжижается. После снятия нагрузки свободная вода связывается или иммобилизуется ячейками структуры. Вследствие этого происходит упрочнение структуры при сжатии. Основные физические характеристики, определяющие состояние отформованного материала и его поведение в технологических процессах – это средняя плотность и прочность.

Исследование влияния давления при прессовании на прочность торфо-древесных изделий базового состава проводилось на образцах-цилиндрах

$d = h = 70$ мм, изготовленных из смесей для стеновых материалов оптимального состава (торфояжушее – 21,5 %, фракционированные опилки – 75 %; сополимерная эмульсия – 3,0 % при водотвердом отношении – 2,0). При давлении прессования 3,0 МПа максимальная прочность образцов при сжатии равна 3,0–3,5 МПа, а значение средней плотности – 410–440 кг/м³. Дальнейшее повышение давления прессования (до 5,0 МПа) неэффективно, так как относительная величина приращения прочности ($R_{сж}/P_{прес}$) снижается с 1,15 до 0,8 МПа (рисунок 14).

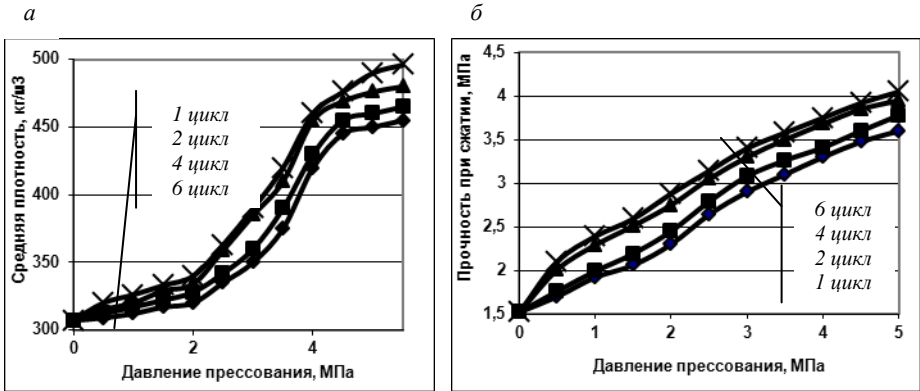


Рисунок 14 – Влияние давления прессования и количества циклов на свойства торфодреvesных изделий: а- средняя плотность; б- прочность при сжатии

В процессе уплотнения торфодреvesной смеси и удаления из нее влаги и воздуха число элементарных актов взаимодействия растет вследствие проявления молекулярно-поверхностных сил, поэтому увеличивается и прочность изделий до определенного значения. Энергия активации вязкого течения торфяных систем в зависимости от температуры, концентрации, структуры торфа и гуминовых веществ составляет 13,0–56,5 кДж/моль. Процессы структурообразования в торфяных системах обусловлены, в основном, водородными и молекулярными связями между компактными комплексами, определяемыми природными факторами торфяных систем – степенью разложения, содержанием гуминовых веществ, типом надмолекулярных структур и т. д.

Для изготовления теплоизоляционных изделий из торфодреvesных смесей применялись поризующие добавки. Поризация смеси уменьшает трение частиц смеси, повышается ее связность, что способствует равномерному распределению частиц заполнителя и торфояжущего при перемешивании.

Для равномерного распределения пены в торфодревесных смесях высокой подвижности и лучшего сохранения пористой структуры отформованного изделия использован способ вибролитья. Время вибрирования устанавливалось по показателю расслаиваемости смеси. Время вибрирования зависит от состава смеси, В/Т отношения формовочной смеси и изменяется в интервале 20–90 с. Интенсификация процессов структурообразования в торфоявляющем и удаление излишней влаги в материале осуществляется тепловым воздействием. В торфяных системах в процессе сушки происходит переход коагуляционной структуры в конденсационно-коагуляционную, приближающуюся по своим свойствам к конденсационно-кристаллизационным структурам, что приводит к увеличению прочности материала. Процесс сушки изделий сопровождается появлением микро- и макротрещин, отрицательно влияющих на прочность материалов. Современный подход к процессам структурообразования при сушке в торфяных системах изложен в работах И.И. Лиштвана А.Е. Афанасьева, Н.В. Чураева, Н.И. Гамаюнова и др. Наличие в торфе гидрофильных и гидрофобных органоминеральных коллоидов, растворов и дисперсий низко- и высокомолекулярных соединений приводит к образованию различных ассоциатов твердой фазы. В процессе сушки наблюдается упрочнение поверхностного слоя изделий, что является результатом передвижения к периферии вместе с жидкой фазой ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} и др., которые «сшивают» макромолекулы органической части торфа.

Для формирования структуры материала со стабильными прочностными характеристиками установлен оптимальный режим сушки, который зависит от типа, степени разложения, количества минеральных включений торфа, состава формовочной смеси и способа формования. Правильная оценка температурно-влажностного режима чрезвычайно важна, поскольку сушка в «мягких» условиях увеличивает прочность, но значительно удлиняет время процесса, и наоборот. Процесс структурообразования в торфяных системах делится на два периода. В первом периоде структурообразование связано с действием ван-дер-ваальсовых сил, система переходит из жидкообразной в условно-пластичную (по И.И. Лиштвану). Второй период связан с развитием межмолекулярных водородных связей и характеризуется стабилизацией коагуляционной структуры и переходом системы из вязко-пластичного состояния в твердообразное. Прочностные и структурные характеристики композиционного материала зависят от соотношения между органическими и минеральными компонентами твердой фазы и от их состава.

Кривые сушки образцов в изотермических условиях при 20 °С и относительной влажности 60–70 % представлены на рисунке 15, по ним

можно установить основные особенности процесса в зависимости от типа торфа и от вида торфодревесных изделий.

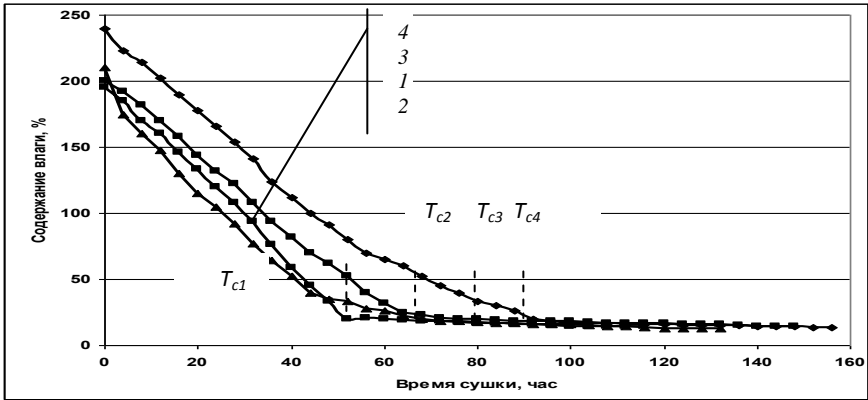


Рисунок 15 – Кривые сушки торфодревесных материалов: 1– теплоизоляционный материал (торф верховой); 2– конструктивно-теплоизоляционный материал (торф верховой); 3–теплоизоляционный материал (торф низинный); 4– конструктивно-теплоизоляционный материал (торф низинный)

Сушка изделий на основе верхового торфа (линии 1 и 2), происходит существенно быстрее, чем изделий на основе низинного (линии 3–4). Такая особенность объясняется более высоким содержанием гидрофобных групп в верховом торфе. Изделия, имеющие более плотную структуру (конструктивно-теплоизоляционные), высыхают медленнее, чем теплоизоляционные. Стабилизация величины относительной влажности (18–25 %) в образцах на основе верхового торфа наступает через 2,5–3 суток, а на основе низинного торфа – через 3,1–3,8 суток. Следует отметить, что при мягком режиме сушки изделия получают более высокого качества, по причине стабилизации скорости усадки и скорости влагоотдачи (рисунок 16).

В первые 20 часов скорость сушки меняется интенсивно: от 7 до 3,5 масс. % влаги в час. Далее, в интервале 60–80 ч скорость удаления влаги значительно снижается от 3,5 до 0,3 масс. %. В остальное время происходит досушивание изделий с практически постоянной скоростью. Для промышленного производства торфодревесных материалов в работе рекомендованы жесткие режимы сушки, позволяющие уменьшить время сушки до 1–1,5 суток.

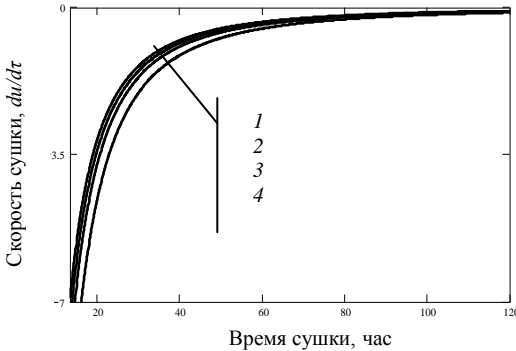


Рисунок 16 – Кривые скорости сушки: 1 – теплоизоляционный материал (торф верховой); 2 – конструкционно-теплоизоляционный материал (торф верховой); 3 – теплоизоляционный материал (торф низинный); 4 – конструкционно-теплоизоляционный материал (торф низинный)

составляющей торфа. При тепловой обработке образцов в интервале 95–105 °С повышение прочности торфодревесного композита не происходит. При температуре 105 °С происходит возгонка битумов и необратимая коагуляция коллоидов с образованием в значительной мере гидрофобных соединений. Этот эффект используется при «закалке» торфодревесных плит.

Для торфодревесных материалов со средней плотностью 250–450 кг/м³ исследованы значения теплопроводности при разных условиях эксплуатации, сорбционные и десорбционные свойства, паропроницаемость, определены коэффициенты звукоизоляции, огнестойкость и долговечность изделий. Показано, что на сорбционную влажность торфодревесных изделий средняя плотность влияет в меньшей степени, чем влажность воздуха. Наибольшее расхождение между изотермами сорбции и десорбции, равное 4,5–3,7 % для материалов с разными средними плотностями, наблюдается при $\varphi = 80 \%$, что положительно сказывается на процессе удаления влаги из стены в летний период эксплуатации материала в здании. Установлена нормированная отпуская влажность торфодревесных теплоэффективных изделий, равная 20 %. При данной влажности минимизируется вероятность деформирования изделий и возникновения больших напряжений или деформаций при эксплуатации.

Для уменьшения горючести полученных торфодревесных теплоэффективных изделий рекомендуется использовать огнезащитные

Для определения оптимальной температуры и времени тепловой обработки, торфодревесные образцы на основе низинного и верхового торфа, сушились в течение 1–3 сут. при температурах 75, 85, 95 и 105 °С. При температуре сушки 75 °С рост прочности образцов происходит медленно и достигает своего максимума в течение 3 суток. При температуре сушки 85 °С торфодревесные изделия набирают достаточную прочность в течение 1 суток. Повышение прочности при 75–85 °С объясняется твердением минеральной

составы на основе водных растворов солей металлов. Значимый эффект от действия добавок-антипиренов получен при введении добавки в формовочную смесь и последующей поверхностной обработкой формованных изделий.

Определение долговечности композиционных стеновых и теплоизоляционных изделий проводилось по предложенной автором методике, учитывающей особенности эксплуатации торфодревесных материалов в ограждающих конструкциях в климатических условиях Гомской области. Испытание торфодревесных изделий на долговечность включает увлажнение-высушивание и замораживание-оттаивание. По результатам оценки долговечности торфодревесных теплоэффективных стеновых материалов она составляет не менее 50 лет при соблюдении требуемых условий эксплуатации. Торфодревесные теплоизоляционные изделия относятся к группе горючих материалов (Г2 - Г4), трудно воспламеняемых и могут применяться для жилых, промышленных и общественных зданий степени огнестойкости КМ3-КМ5. Полученные торфодревесные теплоизоляционные материалы соответствуют санитарно-эпидемиологическим требованиям. Эксплуатационные свойства теплоэффективных стеновых торфодревесных изделий представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Эксплуатационные свойства торфодревесных изделий

Вид торфодревесных изделий	Вид торфодревесного материала для изделий	Теплопроводность, Вт/(мК)	Коэффициент звукоизоляции, Дцв, $\sigma = 170$ мм.	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности, МПа		Водопоглощение, %, (по массе)	Группа горючести	Паропроницаемость, мг/(м ² Па)
					при сжатии	при изгибе			
Теплоизоляционные плиты	Базовый	0,07-0,075	43	300-310	0,60-0,75	0,22-0,28	120-170	Г4	0,25-0,26
	С повышенной теплозащитой	0,045 - 0,05	41	220-250	0,25-0,27	0,17-0,20	120-160	Г4	0,28-0,26
	Водостойкий	0,06-0,07	43	300-350	0,60-0,75	0,22-0,28	18-20	Г4	0,19-0,22
	Экстра	0,05 - 0,06	46	300 - 370	2,10 - 2,60	1,20-1,30	25-30	Г3, Г2	0,22 - 0,23

Стеновые блоки	С повышенной прочностью и водостойкостью	0,06 - 0,07	52	450 - 500	35-60	25-30	18-22	Г2 Г3	0,16 - 0,17

По результатам проведенных теплотехнических расчетов установлено, что в климатических условиях г. Томска при устройстве различных типов теплоэффективных стен с утеплителями из торфодревесных плит и блоков толщиной 150–200 мм, накопления влаги за годовой период эксплуатации и избыточного увлажнения материала в зимний период не происходит.

В шестой главе рассмотрены вопросы получения добавок из термомодифицированного торфа для строительных смесей на основе цемента, совместимых с торфодревесным материалом. Наиболее эффективным конструктивным решением использования торфодревесных строительных материалов является фасадная теплоизоляция с защитно-декоративной системой совмещенного типа. Работоспособность фасадной теплоизоляции зависит от условий совместной работы штукатурного покрытия и теплоизоляционного слоя.

Совместимость теплоизоляционного материала, клеевого и штукатурного слоя в многослойной стеновой системе может быть обеспечена созданием на границе раздела слоев, включающих в себе компоненты двух граничных материалов. Такой подход позволяет открыть весьма важные перспективы направленного регулирования параметров качества композиционных материалов для слоистых фасадных систем. Одним из возможных путей решения вопросов, связанных с совместимостью разнородных материалов, является разработка добавок для регулирования свойств цементных композиций на основе торфа. Разработан способ получения добавок на основе термомодифицированного торфа (ТМТ) и изучены закономерности влияния полученных добавок на формирование структуры и свойств цементных композиций для защитных слоев фасадных систем (*решение о выдаче патента. Заявка № 2009149007/03 от 09.12.2010*). Установлена возможность получения на основе торфов верхового типа гидрофобизирующих добавок, а на основе низинного – добавок, регулирующих структурные характеристики цементных систем. В соответствии с разработанным способом, торф подвергался термообработке при температурных режимах (200, 400, 600 и 800 °С) и измельчался до частиц диаметром менее 0,1 мм или совместным помолом с цементом до

$S_{уд} = 350 \text{ м}^2/\text{кг}$. Исследовано влияние термомодифицированных добавок торфов низинного и верхового типов на прочностные свойства, среднюю плотность, водопоглощение, гидрофобность цементных композиций. Влияние исследуемых видов добавок (ТМТ 400, ТМТ 600 и ТМТ 800) на свойства цементного камня зависит в первую очередь от состава торфа (рисунок 17).

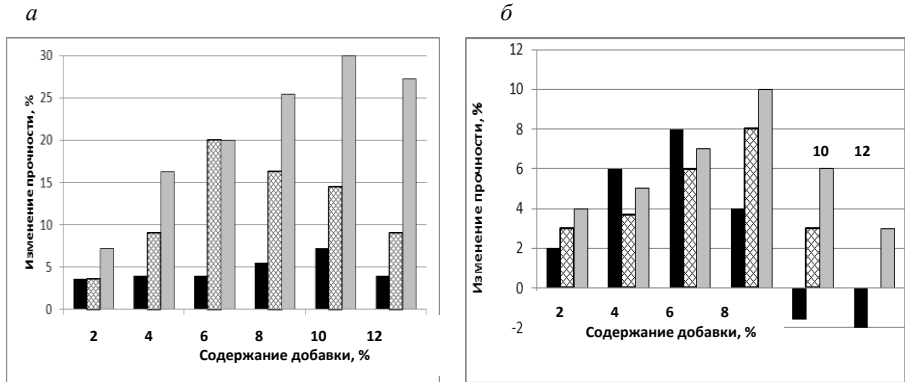


Рисунок 17 – Изменение прочности на сжатие цементного камня с добавкой термомодифицированного торфа по отношению к контрольным: *а* – из низинного торфа; *б* – из верхового; ■ - ТМТ 400; ■ - ТМТ 600; ■ - ТМТ 800

Наиболее значимый упрочняющий эффект установлен при введении в цементную композицию добавки ТМТ 600 на основе низинного торфа.

Введение добавки ТМТ 600 (6-10 % от массы цемента) позволяет повысить прочность на сжатие цементного камня до 30 %. Добавка ТМТ 800 на основе низинного торфа повышает прочность цементного камня на 20 %.

Согласованность работы растворяемых смесей с добавкой термомодифицированного торфа при устройстве теплоизоляционной системы оценивалась по изменению прочности сцепления торфодеревянной плиты со штукатурным покрытием. Эта характеристика повышается на 10–15 %.

Полученный положительный эффект объясняется физико-химическим взаимодействием минеральной части низинного торфа, в состав которой входит преимущественно CaO , и органо-минеральных комплексов с продуктами твердения портландцемента. Из анализа результатов физико-химических исследований следует, что при твердении портландцемента с добавками на основе низинного торфа образуются новые кристаллические фазы, появляются дополнительные центры кристаллизации, что способствует образованию гидросиликатов кальция разной степени основности. На рентгенограммах идентифицируются пики соединений $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$, $\text{C}_2\text{S}_3\text{H}_2$, $\text{C}_4\text{S}_3\text{H}$,

C_2SH , AS_4H . Интенсивность пиков этих соединений увеличивается с введением добавок ТМТ 600 и ТМТ 800. Эндозффекты на термограммах сдвигаются в сторону повышения температур. Известно, чем выше температура разложения вещества, тем менее дефектна его структура, что подтверждает данные механических испытаний цементного камня. На кривых ТГ у образцов отмечается значительное повышение потери в массе у модифицированного цемента (от 24,6 % – добавка ТМТ 400 и до 41,7 % – добавка ТМТ 800), что свидетельствует о возникновении более прочных связей адсорбционной воды с поверхностью кристаллогидратов. Понижение температуры фазовых превращений в модифицированном цементе может свидетельствовать о появлении дополнительных новообразований от взаимодействия продуктов твердения портландцемента и термомодифицированного торфа. Данные предположения подтверждаются также появлением экзозффектов при температурах 395–435 °С. На электронно-микроскопических снимках цементного камня с ТМТ 600 (рисунок 18), как наиболее эффективной добавки, идентифицируется ассоциаты в виде переплетенных волокон минерального или органоминерального состава, толщина волокон 552 нм - 10 мкм, длина до 100 мкм.

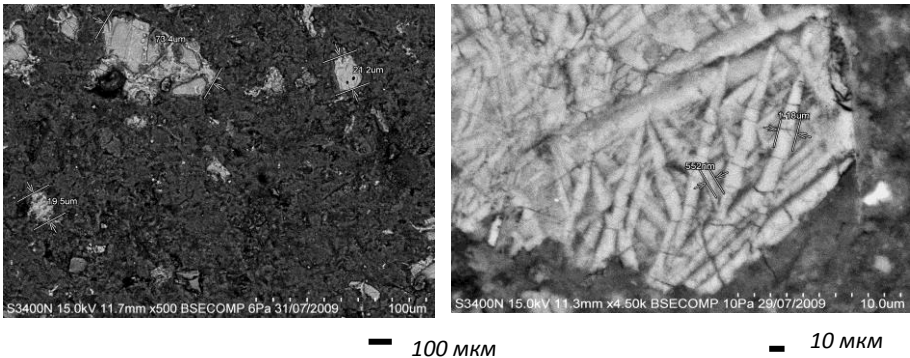


Рисунок 18 – Электронно-микроскопические снимки цементного камня с добавкой ТМТ 600

Волокна имеют хаотично ориентированную структуру, и, вполне вероятно, что их появление в цементном камне обеспечивает армирующий эффект, приводящий к повышению его прочности и модуля упругости. Волокнистые ассоциаты имеют однородную плотную границу с цементным камнем, что позволяет получать качественные бездефектные образцы. Таким образом, проведенные исследования показывают эффективность применения

термодифицированных добавок на основе низинного торфа для улучшения прочностных характеристик

Температура термообработки торфа должна быть 600–800 °С, в этих условиях максимально снижается содержание органических веществ в торфе, и его состав представлен преимущественно зольной частью или температуроустойчивыми органоминеральными комплексами. У образцов цементного камня с добавкой ТМТ 400 (6 %) из верхового торфа установлено наибольшее снижение величины капиллярного всасывания воды – до 65 % (рисунок 19). Увеличение массы образцов начинается после 3 ч контакта с

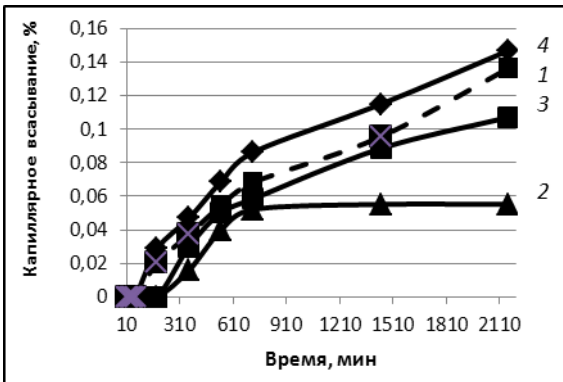


Рисунок 19 – Кинетика капиллярного всасывания воды образцами с термодифицированными добавками: 1– контрольный; 2 –ТМТ 400 (6 %); 3 – ТМТ 600 (6 %); 4–ТМТ 800 (8 %)

влажгой и продолжается до 12 ч. Полученные результаты объясняются формированием более плотной структуры и образованием тонких капилляров в цементном камне. Снижение величины капиллярного подсоса в цементных образцах с добавкой ТМТ 400 связано также с гидрофобизацией частиц цемента битумными соединениями, выделяющимися из торфа при термообработке в этом интервале температур. Выводы подтверждаются

данными физико-химических исследований.

В седьмой главе приведено обоснование технология изготовления и технико-экономической эффективности производства композиционных торфодревесных изделий. Совокупность и последовательность технологических процессов производства торфодревесных материалов имеет много общего с классическими технологиями изготовления строительных материалов. Подготовка сырья, имеющего сложный групповой состав и нестабильность физико-химических характеристик, предполагает использование нетрадиционных режимов производства, направленных на получение высоких показателей качества готовой продукции. Представленные в предыдущих разделах результаты исследований составов, структурообразования и качества торфодревесных материалов с применением модифицирующих добавок являются основой для проектирования основных технологических процессов производства изделий. Исследования показали, что на конечные свойства материала влияет не только компонентный состав сырьевой смеси, но и

используемые технологические приемы. Установленные рациональные режимы технологических операций обеспечивают формирование микро- и макроструктуры композиционного торфодревесного материала с требуемыми свойствами. Технологический процесс изготовления торфодревесных эффективных изделий может быть организован как на вновь созданных предприятиях (это может быть мини-завод), так и на действующих заводах, занимающихся, например, производством мелкоштучных изделий методом вибропрессования или пластического формования, производством деревянных конструкций и др. Это могут быть также мобильные установки, приближенные к месту добычи торфа. Технологический процесс производства торфодревесных эффективных материалов отличается большой гибкостью и маневренностью в использовании уже существующего в строительной индустрии технологического оборудования. При проектировании состава торфодревесных смесей для производства теплоэффективных стеновых материалов задаются требования к ней, а также к затвердевшему материалу. В частности, в требованиях указывается предельно допустимая средняя плотность торфодревесных изделий, проектная и отпускная прочность, влажность, удобоукладываемость смеси, а также данные о свойствах исходных материалов. Для торфа это тип, естественная влажность, истинная и насыпная плотность, для заполнителя – вид древесины, водопоглощение по массе, естественная влажность, способ резки, истинная и насыпная плотность, зерновой состав. Приводятся характеристики добавок и указываются производственные условия формования изделий. Содержание торфяного вяжущего в торфодревесной смеси определяется исходя из закономерностей формирования структуры в системе «древесный заполнитель – торфовяжущее» при рационально подобранном зерновом составе древесного заполнителя. Количество воды затворения, необходимое для придания требуемой удобоукладываемости торфодревесной смеси, определяется водопоглощением древесного заполнителя, зависящим от породы древесины и размеров частиц заполнителя, выбранным способом уплотнения и содержанием добавок, регулирующих свойства торфодревесных изделий. Для стеновых блоков, формируемых способом прессования, смесь по удобоукладываемости должна быть жесткой с осадкой конуса до 1 см. В формовочные смеси для таких изделий рекомендовано вводить добавки, улучшающие прочностные и усадочные свойства. Расход воды назначается из условия обеспечения укладки смеси при принятом способе формования и определяется опытным путем.

Для теплоизоляционных изделий, формируемых способом виброформования смесь по удобоукладываемости должна быть малоподвижной с осадкой конуса 1–3 см. В формовочные смеси для таких изделий рекомендовано вводить пенообразующие добавки анионоактивного типа (Неолас, Теас, БП-2000). Расход воды назначается из условия обеспечения укладки при принятом способе формования, исключая разрушение пены при приготовлении поризованной торфодревесной смеси, и определяется опытным путем.

Приготовление торфоявляющего осуществляется путем тонкого диспергирования в водной среде при следующих параметрах: водосодержание смеси – 280 % (на сухое вещество), время помола зависит от выбранного помольного агрегата. Наиболее эффективен при механоактивации торфов ударный способ измельчения, осуществляемый в мельницах: вибрационных, шаровых, струйных, центробежных, молотковых. Вид используемого оборудования для получения торфоявляющего влияет на оптимальное время измельчения торфа. Качество полученного торфоявляющего контролируется по крупности частиц (не более 10 мкм). При приготовлении торфодревесной смеси твердые составляющие (древесный наполнитель) загружаются постепенно в торфоявляющее и перемешиваются до однородного состояния. При приготовлении формовочной смеси вначале вводят с торфоявляющим полимерные, гидрофобизирующие добавки и предварительно подготовленную пену, а в последнюю очередь – фракционированный древесный наполнитель. При использовании армирующих добавок рекомендуется предварительное смешивание их с древесным наполнителем, что обеспечивает равномерное распределение волокон в готовой смеси, а затем добавляют торфоявляющее. Торфодревесную смесь целесообразно перемешивать в смесителях принудительного циклического действия. Время перемешивания формовочных смесей зависит от компонентного состава и составляет 5–16 мин. Выбор способа уплотнения торфодревесной смеси определяется производительностью линии, типом изделий, свойствами формуемой смеси. На изделия из торфодревесных материалов разработаны технические условия. Разработан технологический регламент изготовления теплоизоляционных плит и блоков. Полученные научные данные подтверждены опытно-промышленной проверкой результатов исследований. Практические рекомендации, разработанные по результатам исследований, использованы при создании технологии и получении двух опытных партий торфодревесных плит на технологической линии предприятия ООО «Асиновский завод строительных материалов». Испытания полученных торфодревесных изделий на соответствие ТУ 5768-062-02069295-2009 проведены в аттестованной лаборатории № 3.2 НИИ СМ ТГАСУ по стандартным методикам и, разработанным в ходе выполнения работы. Проведенные промышленные испытания показали техническую возможность получения торфодревесных теплоизоляционных изделий (плит и блоков), обладающих требуемыми эксплуатационными характеристиками. На производственной площадке ООО «Орловская торфоперерабатывающая компания» в 2009-2010 гг. Внедрены результаты опытно-промышленных испытаний технологии изготовления торфодревесных стеновых материалов. Испытания проводились в соответствии с технологическими регламентами и предусматривали проверку новых составов торфодревесных смесей (патенты № 2273620, № 2307813) с модифицирующими добавками для повышения прочности, водостойкости и огнестойкости изделий. Получена опытная партия

теплоизоляционных модифицированных торфодревесных плит и стеновых блоков с улучшенными прочностными характеристиками. Промышленные испытания модифицирующих добавок на основе торфа проведены при изготовлении опытных партий клеевых и штукатурных сухих строительных смесей. Изготовлены опытные партии смесей, которые были использованы на строительных объектах ООО «ИСЦ» Стройпроект». Для реализации предложенной технологии разработан бизнес-план предприятия по производству изделий из торфодревесных материалов различной номенклатуры для ограждающих стеновых конструкций зданий. Для организации производства предполагается использовать серийно выпускаемое в России оборудование по производству торфоблоков с незначительным его дооснащением. Это позволит выпускать расширенный ассортимент продукции как в виде торфоблоков, так и в виде торфоплит, тем самым расширив область применения, для заполнения стеновых конструкций, утепления фасадов, устройства конструкций перегородок и чердачных перекрытий. Полная себестоимость теплоизоляционных плит 1 м^3 составляет 1027,00 руб. и конструкционно-теплоизоляционных блоков – 1397,00 руб. Срок окупаемости предприятия не более 5 лет при коэффициенте рентабельности 14 %. Для сравнительного расчета эффективности использования торфодревесного теплоизоляционного материала в слоистой стеновой системе выбраны следующие варианты: 1 – кирпич керамический пустотелый – ТИМ – кирпич керамический пустотелый; 2 – кирпич керамический пустотелый (2 ряда) – ТИМ – совмещенная штукатурная система. Толщина теплоизоляционного слоя определена для климатических условий Томской области (условия эксплуатации Б). В качестве сравнения теплоизоляционных материалов выбраны: экструдированный полистирол, жесткая минераловатная плита и торфодревесная поризованная плита. Стоимость 1 м^2 кирпичной кладки с использованием торфодревесных плит на 45–57 % ниже. При выборе конструктивных решений для ограждающих систем с учетом энергоэффективности зданий наиболее применимым считается сравнение показателя интегральных дисконтированных затрат. По значениям интегральных дисконтированных затрат по каждому варианту проектных решений эффективными с точки зрения инвестиционных и эксплуатационных вложений являются те слоистые системы, где в качестве ТИМ применялись торфодревесные плиты, а конструкция стены предпочтительнее с внутренним размещением теплоизоляции ($\text{ИДЗ} = 3246$ руб. на 1 м^2 конструкции).

Основные выводы по работе:

1. Выполненный комплекс исследований подтвердил возможность направленного модифицирования торфов и создания на их основе композиционных материалов и изделий, удовлетворяющих критериям их

использования в строительстве. Предложена модель композиционного материала на основе модифицированного торфа. Каркасообразующим структурным элементом является древесный наполнитель, имеющий химико-минералогическое и морфологическое сродство с торфом, а торфяное вяжущее, полученное путем механохимического, электрофизического или химического модифицирования, склеивает зерна наполнителя, заполняет пустоты каркаса и является матрицей, активно участвующей в формировании структуры композиционного материала (путем поризации, армирования микрофибрами и др.) при получении композиционных материалов требуемого качества.

2. Предложена структурная модель торфа как сырьевого материала для изготовления строительных изделий, использование которой позволяет научно обосновать выбор способа модифицирования торфа и обеспечить возможность получения на его основе строительных материалов с требуемыми свойствами. Установлено, что основными критериями при выборе торфяного сырья является соотношение в нем органических и минеральных функциональных групп.

3. При механохимической активации низинного торфа в воде или в водных растворах с щелочными добавками повышается способность к структурообразованию, что приводит к существенному увеличению прочности на сжатие торфяного вяжущего. При получении торфяного вяжущего из верхового торфа наиболее эффективна механохимическая активация в водной среде с кислотными добавками, что приводит к деструкции органической части, ускорению структурообразования и повышению прочности композиционных материалов на его основе.

4. Активация воды затворения при приготовлении торфодревесных смесей способствует ускорению процессов структурообразования, что приводит к существенному изменению прочностных характеристик торфяного вяжущего. Применением комбинированной активации воды затворения – щелочная (кислая) и магнитная – для низинных (верховых) торфов соответственно можно повысить прочность при сжатии торфяного вяжущего в 2,1–2,2 раза, а при изгибе – в 2,1–2,6 раза.

5. Рациональная макроструктура и максимальная прочность торфодревесных материалов обеспечиваются при использовании двухфракционной смеси древесного наполнителя прерывистой гранулометрии с соотношением размеров зерен, равным четырем, при этом достигается наиболее плотная пространственная упаковка компонентов, обеспечивающая жесткий скелет материала, а прочность при сжатии торфодревесного материала увеличивается до 0,75 МПа.

6. Введение в торфодревесные конструктивно-теплоизоляционные материалы комплексной добавки «полимер и микрокремнезем» приводит к повышению прочности на сжатие до 6 МПа, модуля упругости в упругоупругой стадии до 550 МПа, а усадочные деформации снижаются

до 5 %. Полученные закономерности объясняются структурными и фазовыми изменениями в торфодревесном материале с упрочняющими добавками. Установлено также, что введение в формовочную смесь синтетических армирующих волокон повышает прочность изделий. Наибольший эффект наблюдается при введении в смесь 7,5 % полипропиленового волокна, полученного путем фибрилляции.

7. Для повышения водостойкости торфодревесного материала необходимо использовать двухступенчатую обработку изделий с введением 7–10 % добавки катионоактивного или нейтрального типа (например, метилсиликоната калия) от массы торфявяжущего в формовочную смесь с последующей обработкой поверхности. Водопоглощение торфодревесных теплоизоляционных материалов снижается до 18 %. Усиление водоотталкивающих свойств торфодревесных материалов объясняется блокированием полярных групп торфа и древесного наполнителя путем их химического или электростатического взаимодействия с компонентами модифицирующих добавок, а также заполнением ими порового пространства композиционного материала.

8. Введение в формовочную смесь 6–8 % пенообразующей добавки анионоактивного типа снижает коэффициент теплопроводности до 0,045–0,05 Вт/(м·К). Установлено, что для торфодревесных теплоизоляционных материалов согласованность зарядов поверхности частиц торфа и ПАВ является определяющим фактором при выборе вида пенообразующих добавок.

9. Разработаны составы торфодревесных смесей и установлены режимы технологических процессов производства композиционных строительных материалов на основе модифицированных торфов. Для конструкционно-теплоизоляционных изделий, получаемых из малоподвижных формовочных смесей, предложен способ циклического прессования при давлении 3,0 МПа. Прочность изделий при прессовании (4 цикла) повышается до 3,5 МПа при обеспечении средней плотности 440 кг/м³. Определен интервал скорости сушки изделий, составляющий 3,5–0,3 масс. % в час.

10. Наибольшее расхождение между изотермами сорбции и десорбции, равное 4,5–3,7 %, установлено для торфодревесных теплоэффективных изделий с разными средними плотностями при $\phi = 80$ %, что положительно сказывается на процессе удаления влаги из стены в летний период эксплуатации материала в здании. Определена нормированная отпуская влажность торфодревесных теплоэффективных изделий 20 %. При данной влажности минимизируется вероятность деформирования изделий и возникновения деформаций при эксплуатации.

11. На основе торфов верхового типа при нагреве до температуры 400 °С получены гидрофобизирующие добавки, а на основе низинного при температуре 600 °С – добавки, влияющие на структурообразование цементного камня. Установлено, что введение термомодифицированных

добавок на основе торфа в цементные композиции повышает прочность на сжатие и снижает величину водопоглощения затвердевшего цементного камня, что объясняется появлением дополнительных центров кристаллизации при твердении цементных систем, а также формированием на цементных частях оболочек из сорбированных на их поверхности компонентов органических и органоминеральных веществ торфа, что подтверждается комплексом физико-химических исследований. Впервые при исследовании механизма структурообразования в цементной композиции с добавкой ТМТ 600 обнаружены структуры из волокнистых органоминеральных и минеральных соединений толщиной волокон от 552 нм до 10 мкм, длиной до 100 мкм, армирующих продукты твердения цементного камня, что способствует повышению его прочности при сжатии на 30 %.

12. При промышленном апробировании научных результатов диссертационных исследований и практических рекомендаций установлена их достоверность и технологическая эффективность, что документально подтверждается. Инженерные решения, разработанные на основе научных результатов, защищены 5 патентами РФ. Результаты работы внедрены в учебный процесс ТГАСУ. Результаты работы включены в планы развития базы строительной индустрии Томской области. Установлена экономическая эффективность инвестиционных и эксплуатационных вложений при устройстве слоистых стеновых конструкций. Значения интегральных дисконтированных затрат при этом составляют 3246,8 руб. на 1 м² ограждающей конструкции.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

Монографии

1. Торфяные ресурсы Томской области и пути их использования в строительстве / Л.В. Касицкая, Ю.С. Саркисов, Н.О. Копаница, А.И. Кудяков.– Томск: SST, 2007. – 292 с.
2. Копаница, Н.О. Торфодревесные теплоизоляционные строительные материалы / Н.О. Копаница, А.И. Кудяков, М.А. Ковалева.–Томск: SST, 2009. – 183 с.

Научные издания, по списку ВАК РФ

3. Копаница, Н.О. Формирование прочности активированного торфяного вяжущего в торфодревесных композитах/ А.И. Кудяков, Н.О. Копаница, Т.Ф. Романюк // Известия вузов. Строительство. –2001.–С. 42–46.
4. Копаница, Н.О. Эффективные строительные материалы на основе модифицированных торфов / Н.О. Копаница, А.И. Кудяков, Ю.С. Саркисов //Строительные материалы. –2002.–№ 7.– С. 12–14.
5. Копаница, Н.О. Тонкодисперсные добавки для наполненных вяжущих на основе цемента / Н.О. Копаница, Л.А. Аниканова, М.С. Макаревич //Строительные материалы. –2002. –№ 9. –С. 2–3.

6. Структурообразование в модифицированных торфяных системах /Л.В. Касицкая, Ю.С. Саркисов, Н.П. Горленко, Н.О. Копаница // Известия Вузов. Химия и химическая технология. –2003.–Т.46.– В.6 –С.27–32.
7. Копаница, Н.О. Исследование вяжущих свойств низинных торфов при производстве теплоизоляционных материалов / Н.О.Копаница, М.А. Калашникова // Вестник ТГАСУ. – 2007. – № 2.– С. 111–116.
8. Копаница,Н.О. Системный подход при разработке материалов для многослойных ограждающих конструкций / А.И. Кудяков, Н.О. Копаница // Строительные материалы.– № 12. –2005. – С.66–69.
9. Копаница, Н.О. Сопротивление теплопередаче стен с навесными теплоизоляционными фасадами / И.А. Подласова, С.Н. Овсянников, Н.О. Копаница //АВОК. – 2005.– № 3. – С. 54–58.
10. Копаница, Н.О. Особенности регулирования эксплуатационных свойств эффективных торфодревесных материалов / Н.О. Копаница, М.А. Калашникова, Д.В. Лычагин // Строительные материалы.– 2007. – №7.– С. 85–87.
11. Копаница, Н.О. Рациональное использование торфа в строительных технологиях / Н.О. Копаница, А.И. Кудяков, Ю.С. Саркисов // Строительные материалы.– 2007. – №12.– С. 32–36.
12. Копаница, Н.О. Исследование вяжущих свойств в низинных торфах при производстве теплоизоляционных материалов / Н.О. Копаница, М.А. Калашникова // Вестник ТГАСУ. –2007. – № 1. – С. 210–215.
13. Копаница, Н.О. Формирование структур твердения в системе «низинный торф – активированная вода» / Н.О. Копаница, В.Н. Сафронов, М.А. Ковалева // Вестник ТГАСУ.–2009.–№2.– С. 111–122.
14. Копаница, Н.О. Влияние магнитной обработки на свойства торфодревесных композиций / Н.О. Копаница, В.Н. Сафронов, Ю.С. Саркисов // Вестник ТГАСУ.–2009.–№1.– С. 126–132.
15. Копаница, Н.О. Структурное моделирование свойств торфа как сырья для производства строительных материалов / Н.О. Копаница // Вестник ТГАСУ.– 2010.– № 2.– С. 162–168.

Международные и всероссийские конференции:

16. Kopanitsa, N. Das Systemhergehen zur Ausarbeitung der Materialien für Wandkonstruktionen / Kudyakov A., Kopanitsa N. // 15. Internationale Baustofftagung (Ibausil). Tagungsbericht N – Band 1. – Weimar. –2003. – S. 1-1255 – 1–1261.
17. Kopanitsa, N. Quality management of building materials in multilayer trimming systems / Kudyakov A., Kopanitsa N. // 16. Internationale Baustofftagung (Ibausil). Tagungsbericht – Band 1. – Weimar.– 2006. – S. 1-1155 - 1-1161.
18. Kopanitsa, N. Peat-based modifyng agent regulating the behavior of mortars in multilayered wall systems / Kopanitsa N., Kudyakov A. // 17. Internationale Baustofftagung (Ibausil). Tagungsbericht – Band 1. – Weimar, Deutschland, – 2009. – S. 1-0889-1-0895.

19. Копаница, Н.О. Основные методологические принципы управления структурообразованием стеновых материалов на основе торфа / Н.О. Копаница // Материалы XV Академических чтений РААСН. Международная научно-техническая конференция «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии». – Казань, 2010. – т.2. – С. 136–139.
20. Влияние термомодифицированного торфа на свойства цементных систем / Н.О. Копаница, А.И. Кудяков, Ю.С. Саркисов, А.В. Касаткина // Сб. трудов «Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов». – Белгород, 2010. – С.166–170.
21. Копаница, Н.О. Повышение гидрофобных свойств сухих строительных смесей на основе цемента / Н.О. Копаница, Ю.С. Саркисов, А.В. Касаткина // Сб. трудов Международной конференции «Физико-химические основы строительного материаловедения». – Харьков, 2010. – С. 90–93.
22. Копаница, Н.О. Регулирование свойств цементных композиций с использованием модифицирующих добавок на основе торфа / Н.О. Копаница // Сборник статей НТК «Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов. – Пенза, 2008. – С. 77–80.
23. Копаница Н.О. Строительные теплоизоляционные материалы на основе модифицированных низинных торфов / Н.О. Копаница, А.И. Кудяков, М.А. Калашникова // Доклады VI-Всероссийской научно-практической конференции «Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья». – Белокураха – Москва, 2006. – С. 67–71.
24. Копаница, Н.О. Новые возможности использования торфяных ресурсов / Н.О. Копаница, А.И. Кудяков, М.А. Калашникова // Сб. докладов 12-й Международной научно-практической конференции. – Тюмень, 2006. – С. 43–45
25. Копаница, Н.О. Модифицирование торфа в производстве композиционных строительных материалов / Н.О. Копаница // Сборник научных трудов международной конференции «Использование отходов и местного сырья для производства строительных материалов и конструкций». – Новосибирск, 2008. – С. 116–119.
26. Копаница, Н.О. Эффективные строительные материалы на основе торфа / Н.О. Копаница, А.И. Кудяков, М.А. Ковалева // Сборник материалов международной конференции «Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири». – Томск, 2009. – С.250–253.
27. Копаница, Н.О. Наполненные вяжущие вещества для сухих строительных смесей / Н.О. Копаница, М.С. Макаревич // Сборник докладов III международной научно-практической конференции «Бетон и железобетон в третьем тысячелетии». – Ростов-на-Дону, 2004. – т. 1. – С. 270–278.
28. Копаница, Н.О. Тонкодисперсные добавки для сухих строительных смесей / Н.О. Копаница // Сборник докладов IV международной научно-практической конференции «Бетон и железобетон в третьем тысячелетии». – Ростов-на-Дону, 2006. – т.1. – С. 124–126.

Периодические печатные издания и журналы:

29. Копаница, Н.О. Торф как альтернативный источник сырья для производства строительных материалов / Н.О. Копаница, А.И. Кудяков, Ю.С. Саркисов [и др.] // Торф и бизнес.– 2007. –№ 3(9). – С. 27–29.

30. Копаница, Н.О. Перспективы применения теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях на основе низинных торфов Томской области / Н.О. Копаница, М.А. Калашникова // Строительные материалы, оборудование технологии XXI века (Кровельные и изоляционные материалы). – 2008. – № 2. – Ч. 1 – С. 46–48.

31. Копаница, Н.О. Перспективы применения теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях на основе низинных торфов Томской области / Н.О. Копаница, М.А. Калашникова // Строительные материалы, оборудование технологии XXI века (Кровельные и изоляционные материалы) – 2008. – № 3. – Ч. 2 – С. 58–60.

Патенты:

1. Торфодревесная композиция для изготовления теплоизоляционных материалов: пат. 2273620 от 2004.03.22 РФ / Н.О. Копаница, А.И. Кудяков, М.А. Калашникова; опубл. 10.04.2006, Бюл. №10.

2. Торфодревесная композиция для изготовления конструкционно-теплоизоляционных материалов: пат. 2307813 от 2005.10.03 РФ / Н.О. Копаница, А.И. Кудяков, М.А. Калашникова; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 28.

3. Теплоизоляционная композиция для производства строительных материалов на основе торфа: пат. 2393128 от 2008.01.09 РФ / Н.О. Копаница, А.И. Кудяков, М.А. Калашникова; // опубл. 27.06.2010, Бюл. № 18.

4. Торфодревесное теплоизоляционное изделие: пат. на полезную модель № 90090 от 13.04.2009 РФ / Н.О. Копаница, В.Н. Сафронов, М.А. Ковалева // опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36.

5. Способ получения гидрофобного цемента с улучшенными прочностными характеристиками: Заявка № 2009149007/03(072427) от 28.12.2009, Решение о выдаче патента от 09.12.2010) / Н.О. Копаница, Ю.С. Саркисов, А.И. Кудяков.

Копаница Наталья Олеговна

**Композиционные строительные материалы на основе
модифицированных торфов
АВТОРЕФЕРАТ**

Изд. лиц. № 021253 от 31.10.97 .

Подписано в печать 05.2011. Формат 60×84 1/16
Бумага офсет. Гарнитура Таймс. Усл.-печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,65.
Тираж 120 экз. Заказ №
Изд-во ГОУ ВПО «ТГАСУ», 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинала-макета автора в ООП ГОУ ВПО «ТГАСУ».
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.